

POLITECHNIKA ZIELONOGÓRSKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I INŻYNIERII SANITARNEJ

**zeszyty
naukowe**

122

ZIELONA GÓRA, 2000

POLITECHNIKA ZIELONOGÓRSKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I INŻYNIERII SANITARNEJ



ZESZYTY NAUKOWE

Nr 122

INŻYNIERIA ŚRODOWISKA 9

Materiały konferencyjne

IV Konferencji z cyklu:
WODA-ŚCIEKI-ODPADY
W ŚRODOWISKU

Kolegium redakcyjne

dr hab. inż. prof. PZ. ANDRZEJ JĘDRCAK
dr inż. MIROSŁAW MAKOWSKI

Printed in Poland

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Zielonogórskiej

ISSN 1508-4450

Spis treści

1. SIUTA J.: *Odpady do kompostowania i użyteczność kompostu*, 5
2. SIUTA J., WASIAK G.: *Odpady z pielęgnacji zieleni zasobem surowca w produkcji kompostu*, 29
3. SIEJA L.: *Miejsce kompostowania w gospodarce odpadami*, 39
4. JĘDRCZAK A.: *Fermentacja metanowa. Miejsce w systemach gospodarki odpadami komunalnymi*, 53
5. SUTCO-POLSKA Sp. z o.o.: *Mechaniczno - biologiczne przetwarzanie odpadów organicznych i reszkowych*, 63
6. KRZYWICKI M.: *Kompostowanie odpadów komunalnych metodą biostabilizacji według technologii „DANO”*, 73
7. MALARA A.: *Ocena efektów unieszkodliwiania odpadów komunalnych w Katowickiej Kompostowni*, 81
8. WRÓBLEWSKI M.: *Mechaniczno biologiczne unieszkodliwianie odpadów w Gorzowie Wlkp.*, 89
9. WOLNY T.: *Opis technologii kompostowania oraz wynikające wnioski na przykładzie kontenerowej kompostowni typu „KNEER” w MPGK w Świętochłowicach Sp z o.o.*, 95
10. WOLNY T.: *Ocena materiału wsadowego do kompostowania w kontenerowej kompostowni typu „KNEER” w MPGK w Świętochłowicach Sp. z o.o.*, 107
11. CHMIELEWSKI R.: *Unieszkodliwianie odpadów w warunkach fermentacji beztlenowej z wykorzystaniem tzw. pryzm energetycznych na przykładzie Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów w Zakurzewie*, 113
12. JANKA W.: *Unieszkodliwianie odpadów w Zielonej Górze - system „PREKO ZG”*, 125
13. WERTHMANN R.: *Die Beseitigung von Abfällen in der Untertage-Deponie Herfa-Neurode*, 141
14. KEMPA E.S.: *Klasy kompostu - realność czy fikcja?*, 153

Jan SIUTA

Instytut Ochrony Środowiska Warszawa

ODPADY DO KOMPOSTOWANIA I UŻYTECZNOŚĆ KOMPOSTU

WPROWADZENIE

W warunkach naturalnych cała masa roślinna gromadzi się w miejscu jej powstawania, stanowiąc pożywienie dla zwierząt i mikroorganizmów, a następnie glebotwórczy zasób próchnicy i pożywienie dla roślin w kolejnych cyklach wegetacji.

Rolnictwo zniekształciło naturalne krążenie składników, warunkujące zrównoważone funkcjonowanie i prawidłowy rozwój ekosystemów. Zniekształcenie to nasila się w miarę postępu specjalizacji, technizacji i chemizacji produkcji roślinnej i zwierzęcej z jednej strony oraz przetwórstwa rolno-spożywczego z drugiej.

Tradycyjne gospodarstwa rolne prowadzące równorzędnie produkcję roślinną i zwierzęcą tylko niewielką część masy roślinnej wyprowadzają poza areal własnych gruntów. W postaci obornika (ostatnio także gnojowicy) wraca ona do ziemi aby pełnić swe próchniczotwórcze i pokarmowe funkcje.

Koncentracja i mechanizacja oraz specjalizacja produkcji roślinnej i zwierzęcej, koncentracja przetwórstwa płodów rolnych, postępujący rozwój aglomeracji miejskich, wzrastające wymogi sanitarne sprawiają, że coraz więcej biomasy przemieszcza się z ekosystemów rolnych do zurbanizowanych, gdzie gromadzą się w postaci odpadów użytkowych. Także w specjalistycznych gospodarstwach rolnych powstaje coraz więcej odpadów poprodukcyjnych. Próchniczotwórcze i pokarmowe zasoby nie wracają do gleby, lecz stają się odpadami degradującymi środowisko we wszystkich jego elementach. Większość odpadów biologicznych wraca z miast i zakładów przemysłowych na tereny wiejskie w postaci niechcianych wysypisk i zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Nie można przywrócić naturalnego krążenia składników w środowisku na terenach rolnych, miejskich i przemysłowych. Można jednak gospodarować poprodukcyjnymi i użytkowymi odpadami biologicznego pochodzenia w sposób przywracający glebie życiodajne zasoby.

Kompostowanie nie spożytkowanych mas roślinnych (stanowiących różnego rodzaju odpady) jest najlepszym sposobem uczynienia z nich surowca do produkcji koncentratu próchnicy – niezbędnej do zachowania lub przywracania żyzności gleby.

Proces kompostowania masy roślinnej jest podobny do próchniczotwórczej przemiany w środowisku glebowym. W obu przypadkach mamy do czynienia z tlenową mineralizacją i humifikacją materii organicznej. Różnica zasadnicza polega na bardzo dużej koncentracji biomasy w procesie kompostowania oraz małej jej zawartości w glebie.

Intensywny biochemiczny rozkład masy kompostowanej w warunkach tlenowych wyzwała bardzo dużo ciepła. W odpowiednich warunkach, temperatura kompostowanej masy osiąga 70 – 75°C.

Tlenowy rozkład masy roślinnej w glebie nie ma znaczącego wpływu na jej temperaturę.

Małe skupiska masy roślinnej kompostowanej na powierzchni ziemi lub w pojemnikach podwyższają swą temperaturę względem otoczenia, ale nie w stopniu warunkującym intensywny proces mineralizacji i humifikacji. Tradycyjne kompostowanie biomasy w gospodarstwach ogrodniczych stanowi ogniwo pośrednie pomiędzy jej glebową humifikacją z jednej strony i przemysłowymi technologiami z drugiej.

Godzi się podkreślić, że mezofilna faza mineralizacji i humifikacji biomasy w przyrmach stanowi bardzo ważne ogniwo przemysłowych technologii kompostowania. Przemysłowe i tradycyjne technologie kompostowania, podobnie jak glebowe procesy mineralizacji i humifikacji polegają na biochemicznych przemianach masy roślinnej w odpowiednich warunkach tlenowych, wodnych i termicznych. Różne jest tylko tempo procesu mineralizacji i humifikacji biomasy.

Produktami humifikacji biomasy są:

- ✓ próchnica i próchniczotwórcze składniki,
- ✓ składniki pokarmowe roślin,
- ✓ mikroflora i fauna glebowa,
- ✓ różnego rodzaju związki biologicznie czynne,
- ✓ gazy wydzielane do atmosfery.

Zależnie od stopnia dojrzałości kompostu zawiera on przewagę próchnicy nad próchniczotwórczymi składnikami i odwrotnie.

W kompoście młodym (mało dojrzałym) dominują składniki próchniczotwórcze, które dopiero po wprowadzeniu do gleby są przekształcane w próchnicę. Skład chemiczny organicznej części kompostu dojrzałego jest bliski substancji organicznej w glebach uprawnych.

ZASOBY SUROWCÓW DO KOMPOSTOWANIA

Próchniczotwórcza masa roślinna stanowi główny zasób surowca do produkcji kompostu, stosowanego do zachowania i ulepszania ekologicznych właściwości gleby.

Wszystkie poprodukcyjne i poużytkowe zasoby biomasy zawierające znaczne ilości składników pokarmowych (dla roślin) są cennymi surowcami do produkcji kompostu.

Wyróżnia się następujące źródła mas biologicznych do kompostowania:

- ✓ gospodarstwa rolne (w tym ogrodnicze),
- ✓ zieleń miejska, rekreacyjna, przemysłowa,
- ✓ nieprodukcyjna roślinność o ekologicznych funkcjach na terenach otwartych (zadrzewienia, zakrzewienia, zarośla naturalne),
- ✓ przetwórstwo rolno-spożywcze,
- ✓ przetwórstwo drewna,
- ✓ przetwórstwo włókien naturalnych,
- ✓ zdyskwalifikowane surowce i produkty biologicznego pochodzenia,
- ✓ odpady biologiczne gromadzone selektywnie w miastach,
- ✓ osady z biologicznego oczyszczania ścieków.

Wiejskie zasoby masy roślinnej do kompostowania. Największe zasoby stanowią niespożytkowane części roślin uprawianych na dużą skalę. Zalicza się do nich głównie:

- ✓ słomę i plewy żyta, pszenicy, jęczmienia, owsa,
- ✓ słomę i łuszczyzny rzepaku oraz pozostałych roślin krzyżowych oleistych,
- ✓ słomę kukurydzy nasiennej,
- ✓ liście buraków, kapusty, marchwi,
- ✓ łęty ziemniaczane.

W gospodarstwach warzywnych dominują liście różnych gatunków roślin z łętami pomidorowymi włącznie.

W gospodarstwach sadowniczych główny zasób stanowią liście i gałęzie z pielęgnacji drzew i krzewów oraz całe drzewa i krzewy usuwane w czasie użytkowania i likwidowania plantacji. Spady owocowe to także znaczne zasoby odpadów sadowniczych.

We wszystkich rodzajach gospodarstw rolnych powstają odpady z odchwaszczania plantacji.

W gospodarstwach rolnych prowadzących chów zwierząt słoma zbóż może być w pełni wykorzystywana jako ściółka, a następnie w postaci obornika jako nawóz. Zdarza się jednak często, że nadmiar obornika staje się odpadem. Wtedy jest on potencjalnym zasobem do kompostowania.

Obornik może być zresztą celowo kompostowany na potrzeby własnego gospodarstwa, zwłaszcza produkującego warzywa lub rośliny ozdobne.

Zasadne jest kompostowanie wszystkich nie spożytkowanych części roślin i użytkowanie kompostu w obrębie własnego gospodarstwa. Realia czynią, że słoma oraz inne poprodukcyjne masy roślin lub ich stogi i zwały zalegają latami w polu oraz na wysypiskach. Oszacowanie nie spożytkowanych mas roślinnych jest trudne, ponieważ zależą one od wielu czynników lokalnych. Można jednak przyjąć, że około 15% wegetacyjnej masy roślin uprawnych stanowi odpady rolnicze, które mogą być przerabiane na kompost. W niektórych obszarach udział ich wynosi co najmniej 30%.

Jeżeli jeden hektar ziemi uprawnej daje średnio w kraju około 4 tony niejadalnej i niepaszowej suchej masy roślin, a jej wykorzystanie w gospodarstwach rolnych wynosi 85%, to do kompostowania jest w kraju około 82 mln ton suchej masy rocznie.

Miejskie zasoby masy roślinnej do kompostowania. Masa roślinna z terenów zieleni miejskiej, rekreacyjnej i przemysłowej jest przeważnie usuwana na składowiska jako odpad bardzo uciążliwy dla środowiska. Jest to przejaw daleko idącej niegospodarności, ponieważ może być spożytkowana w całości na cele ekologiczno-gospodarcze, energetyczne, do wyrobu różnorodnych produktów.

Zielen miejska i osiedlowa zajmuje około 65 000 ha na terenie całego kraju. Przyjmując 5 ton rocznej produkcji masy roślinnej z ha otrzymujemy około 325 000 ton suchego surowca o zawartości $0,5 \div 2,0$ % azotu.

W strukturze miast i osiedli mieszkaniowych znajdują się inne biologicznie czynne powierzchnie ziemi nie zaliczane do terenów zieleni miejskiej. Ich produktywność masy roślinnej jest przeważnie bardzo duża, zwłaszcza na plantacjach warzyw w ogrodach przydomowych i działkowych.

Tereny zieleni przemysłowej i komunikacyjnej wraz ze strefami ochronnymi i pasami izolacyjnymi, podobnie jak zieleni miejskiej, produkują bardzo dużo masy roślinnej, która jest usuwana na wysypiska, a nierzadko palona. Bardzo duże kombinaty

przemysłowe wraz z obszarami chemicznego zanieczyszczenia środowiska zajmują do 1000 i więcej ha gruntów pokrytych szatą roślinną, w której plony lub wegetatywne części roślin nie kwalifikują się na paszę. Teren Zakładów Azotowych w Puławach wraz ze strefą wymarłego lasu wymaga intensywnej uprawy roślin trawiastych, pełniących funkcje biologicznej oczyszczalni atmosfery i gleby oraz przeciwerozryjnego utrwalenia piasków wydmych. Produkowana masa traw jest przerabiana na kompost o bardzo dużych walorach ekonomicznych i handlowych. Mamy tu więc doskonały model kojarzenia ekologicznych i produkcyjnych funkcji szaty roślinnej w warunkach silnie zdegradowanego środowiska.

Miasta generują też bytowo-gospodarcze odpady organiczne pochodzenia biologicznego, które mogą być dobrym surowcem do produkcji kompostu. Usuwa się je jednak razem ze wszystkimi poużytkowymi odpadami gospodarstw domowych, gastronomii, handlu, zakładów usługowych, biur. Kompostowanie odpadów zbiorowych zwanych komunalnymi nie daje nawozu użytecznego w produkcji roślin jadalnych i paszowych. Według GUS w 1998 roku wywieziono 12,27 mln ton odpadów komunalnych. Zawierają one średnio około 35÷50 % części organicznych pochodzenia biologicznego. Odpady organiczne łatwe do selektywnego gromadzenia i kompostowania stanowią około 50 % wszystkich odpadów biologicznego pochodzenia, czyli 15÷25 % masy odpadów komunalnych zbiorczych. Stanowi to 2,4 mln ton o zawartości około 25 % suchej masy. Daje to 600 000 ton suchej masy odpadów zawierających 1,5÷2,5 % azotu.

Przemysłowe zasoby masy roślinnej do kompostowania. Przemysły: rolno-spożywczy, paszowy, drzewny, celulozowo-papierniczy, włókienniczy, zielarski i tytoniowy wytwarzają bardzo duże ilości odpadów, które ze względu na znaczne rozdrobnienie masy roślinnej stanowią doskonały surowiec do produkcji kompostu. Większość tych odpadów jest utylizowana jako surowce wtórne i pasze. Znaczna ich część jest usuwana na składowiska odpadów lub nieprawidłowo wprowadzana do ziemi. Najcenniejszymi surowcami kompostowymi są:

- ✓ trociny, kora i wiór drzewne,
- ✓ odpady z przetwórstwa warzyw,
- ✓ odpady z przemysłu włókienniczego,
- ✓ odpady z przemysłu zielarskiego,
- ✓ masa łapana z przemysłu celulozowo-papierniczego.

Do przemysłowych zasobów kompostowego surowca zalicza się również zdyskwalifikowaną żywność i paszę na etapach produkcji, przechowywania i dystrybucji. Dotyczy to wszystkich produktów roślinnych pochodzenia krajowego i zagranicznego. Oszacowanie mas odpadów roślinnych możliwych do pozyskania z zakładów przemysłowych jest trudne ze względu na stale postępujące ich wykorzystanie. Wiadomo jednak, że są to bardzo duże zasoby lokalne, które mogą być wykorzystane do produkcji kompostu, wspólnie z innymi odpadami organicznymi pochodzenia biologicznego. Tylko nowoczesne, duże zakłady przemysłowe mogą we własnym zakresie utylizować (w tym przerabiać) odpady roślinne.

Osady z biologicznego oczyszczania ścieków do kompostowania. Głównymi źródłami osadów są oczyszczalnie ścieków miejskich. Ich liczba i przepustowość wykazuje bardzo dużą dynamikę wzrostu. Zwiększa się też efektywność oczyszczania ścieków, a tym samym rośnie masa wytwarzanych osadów.

Liczne zakłady przemysłu rolno-spożywczego, chemicznego i drzewnego (głównie celulozowo- papierniczego) mają biologiczne oczyszczalnie ścieków. Chemiczne i biologiczne właściwości ścieków z tych oczyszczalni są zbliżone do osadów z miejskich oczyszczalni ścieków. Do nawożenia gleb i roślin najkorzystniejsze są osady ze ścieków przemysłu rolno-spożywczego.

Od kilku lat dynamicznie postępuje budowa oczyszczalni ścieków w małych miastach i ośrodkach wiejskich. Nawozowe walory osadów z tych oczyszczalni są znacznie większe niż ze ścieków dużych miast.

Dostępne dane pozwalają na oszacowanie i prognozowanie osadów powstających w miejskich oczyszczalniach. Według Bernackiej i Pawłowskiej w 1992 roku wytworzono około 13 mln m³ osadów płynnych o zawartości 2% s.m. W przeliczeniu na suchą masę stanowi to 260 000 ton. Szacowana na 2000 rok sucha masa osadów z oczyszczalni miejskich wynosi około 400 000 ton.

Przeciętna zawartość azotu w s.m. osadu wynosi około 3%, co stanowi 7800 t N. w 1992 r. i 12 000 t N w 2000 r.

Powyższe dane nie ujmują bardzo dużych mas osadów z przemysłowych i wiejskich oczyszczalni ścieków.

Osady ściekowe mogą być używane przyrodniczo bez konieczności odwadniania i kompostowania, ale zawarte w nich chorobotwórcze organizmy i technika aplikacji ograniczają poważnie zakres tej możliwości. Kompostowanie osadów z odpadami roślinnymi niszczy chorobotwórcze organizmy i daje ziemisty nawóz organiczny łatwy do stosowania dla każdej techniki.

Użyteczność kompostu może być jednak ograniczona przez zawartość metali ciężkich. Z tego względu zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych stanowi istotne kryterium oceny przydatności ich do produkcji kompostu. Zawartość metali ciężkich w osadach przeznaczonych do kompostowania nie może przekroczyć dopuszczalnych poziomów ich zawartości w osadach przeznaczonych do użytkowania rolniczego.

Geologiczne zasoby surowców do kompostowania. Zalicza się do nich: torfy, muły organiczne i mineralno-organiczne, węgle brunatne. Wyróżnia się torfy niskie, wysokie i przejściowe o różnym udziale części mineralnych i stopniu rozkładu masy roślinnej.

Torfy niskie silnie zmurszałe są swego rodzaju kompostem torfowym. Wszystkie rodzaje torfów są bardzo dobrym komponentem surowca kompostowego, zwłaszcza gdy inne komponenty obfitują w części łatwo rozkładalne, dobrze rozpuszczalne, odorowe. Wynika to z dużej chłonności torfu.

Zasoby torfu w Polsce są jeszcze bardzo duże, ale do kompostowania mogą być stosowane te zasoby, które muszą być usuwane z miejsc ich zalegania, względnie stanowią odpady pokopalniane i poużytkowe.

Muły organiczne i mineralno-organiczne są doskonałym surowcem do produkcji kompostu, ale podobnie jak zasoby torfu nie powinny być pozyskiwane na ten cel bez konieczności usuwania ich z miejsca naturalnego zalegania.

Pył węgla brunatnego nadaje się do produkcji kompostu z udziałem odpadów zasobnych w łatwo rozkładalne części organiczne i rozpuszczalne składniki nawozowe. Węgiel brunatny może być pozyskiwany na kompost tylko w rejonach jego wydobywania i energetycznego spalania.

Uzupełniające surowce do kompostowania. Wiele rodzajów odpadów organicznych, nie wymienionych wyżej, oraz mineralnych, zawierających składniki nawozowe może być wykorzystane do produkcji kompostu lub korygowania jego składu chemicznego. Zalicza się do nich między innymi:

- ✓ stałe pozostałości w beztlenowej fermentacji masy roślinnej i gnojowicy,
- ✓ poużytkowe podłoża z pieczarkarni,
- ✓ poużytkowe borowiny,
- ✓ poużytkowe płyty wiórowe i trocinowe,
- ✓ fusy z produkcji kawy rozpuszczalnej,
- ✓ odchody zwierząt z ogrodów zoologicznych i osiedli miejskich,
- ✓ treść pokarmowa zwierząt rzeźnych,
- ✓ wywary z utylizacji odpadów poubojowych,
- ✓ rozdrobnione i łatwo rozkładalne kości, szczecina, pierze itp.
- ✓ zdyskwalifikowane mączki paszowe,
- ✓ wysoko kaloryczne odpady przemysłu rolno-spożywczego (obfitujące w węglowodany lub tłuszcze), stosowane w celu uzyskiwania wysokich temperatur kompostowanej masy,
- ✓ odpady stałe i płynne obfitujące w związki azotu i fosforu.

ZAWARTOŚĆ CZĘŚCI ORGANICZNYCH, WĘGLA I AZOTU

Słoma zbóż. Zawartość składników w słomie zbóż jest dość stabilna. Głównymi jej składnikami są węgiel, tlen, wodór, azot, fosfor, potas, wapń i magnez. Próchnicotwórczymi i nawozowymi składnikami są głównie związki węgla, azotu, fosforu i potasu.

Węgiel stanowi około 45 % suchej masy słomy; azot $0,40 \pm 0,70$ %; P_2O_5 $0,2 \pm 0,35$ %; K_2O $1,0 \pm 2,0$ %.

Według Chojnackiego i Boguszewskiego (1971) słomy zbóż zawierają średnio:

	N [%]	P_2O_5 [%]	K_2O [%]
żytnia	0,46 (0,53)*	0,25 (0,19)*	1,12 (1,25)*
pszenna	0,56 (0,68)	0,22 (0,24)	1,12 (1,42)
jęczmienna	0,65 (0,65)	0,24 (0,27)	1,68 (2,05)
owsiana	0,56 (0,78)	0,34 (0,34)	2,07 (2,75)

(0,53)* według Kamińskiej, Kardasza, Strahla, Szymańskiej 1976

Procentowy udział głównych składników mineralnych w wegetatywnych częściach roślin dojrzałych przedstawia tabela 1.

Zawartość azotu w słomie stanowi o ilościowym stosunku C:N, który jest wskaźnikiem jakości surowca kompostowego. Zależy ona nie tylko od gatunku i odmiany rośliny, lecz także od żyzności gleby oraz intensywności nawożenia azotowego. C:N w słomach wynosi najczęściej 80 ± 100 (Czuba 1996).

Rzepakzanka ma zbliżoną zawartość azotu, fosforu i potasu do słomy zbóż z gleb żyznych.

Łęty ziemniaczane są znacznie zasobniejsze od słomy zbóż w azot, potas, wapń i magnez. Łęty zawierające znaczną część liści mogą mieć do około 2,5 % N oraz ponad 4 % K_2O . Wtedy wskaźnik C:N wynosi 20÷30.

Słoma kukurydzy zawiera przeciętnie 1,0÷1,2 % N, P_2O_5 – 0,6 % i K_2O 1 %. Wskaźnik C:N w słomie kukurydzy dojrzałej wynosi 35÷45. Jest więc znacznie korzystniejszy niż w słomie czterech zbóż.

Liście buraczane w fazie dojrzałości technicznej (zbieranie plonów) zawierają przeważnie 1,5÷2,0 % N, 0,35÷0,45 P_2O_5 i 2,5 ÷ 3,0 % K_2O w s.m. Wskaźnik C:N wynosi przeważnie 25÷30. Liście buraka cukrowego są znacznie zasobniejsze w azot od pozostałych, toteż ich wskaźnik C:N może wynosić 20÷25.

Rośliny motylkowe uprawiane są na nawóz zielony, obfitują w azot, toteż ich C:N wynosi przeważnie 18÷20 wg Batalina (za Czubą i Siutą 1976).

Trawy odznaczają się bardzo dużymi wahaniami zawartości azotu i potasu, zależnie od gatunku, jakości gleby, nawożenia i fazy wzrostu (rozwoju). Godkiewicz (1974) w trawach łąkowych stwierdził 1,1÷3,1 % azotu (średnio 1,9 %) w przedziale 1,2÷2,4 % N znalazło się 86,8 % analizowanych próbek traw łąkowych. Trawy zbierane na siano zawierają dużo więcej azotu, fosforu i potasu niż słoma traw zbieranych w stanie dojrzałości nasiennej. Masy roślinne usuwane z trawników pielęgnowanych są na ogół zasobniejsze w azot i pozostałe składniki od siana paszowego. Trawniki koszone jeden lub dwa razy w sezonie wegetacyjnym dają masę roślinną o składzie chemicznym zbliżonym do siana paszowego.

Do kompostowania można pozyskiwać:

- ✓ masę roślinną z trawników dobrze pielęgnowanych o zawartości 2÷3 % N,
- ✓ masę roślinną z trawników koszonych 1÷2 razy oraz zdyskwalifikowane siano o zawartości 1,2÷2,0 % N,
- ✓ słomę z nasiennej produkcji traw o zawartości 0,8÷1,2 % N.

W poroście trawników zieleni nie pielęgnowanej, podobnie jak w runi łąkowej, duży udział mają rośliny dwuliścienne (ziola), które zawierają zwykle więcej azotu niż trawy. Masa roślinna usuwana z trawników Warszawy zawierała 1,4÷1,8 % N i 1,4÷1,8 % K_2O . Wskaźnik C:N w masie roślinnej z trawników wynosił przeważnie 25÷30.

Wiele gatunków traw zebranych z różnych składowisk odpadów zawierało 0,76÷4,1 % N (Porębska, Ostrowska 1999). Podobne zawartości azotu stwierdzono w trawach łąk i pastwisk uprawianych na gruntach ornych.

Rośliny dwuliścienne siedlisk ruderalnych i chwasty w fazie intensywnej vegetacji obfitują w azot i pozostałe składniki pokarmowe. Zależnie od gatunku i fazy rozwoju oraz żywności podłoża rośliny te zawierają 1,5÷5,0 (przeważnie 2,0÷4,0) % N. Przy zawartości węgla organicznego około 45%, wskaźnik C:N wynosi 15÷20 w roślinach młodych i 25÷40 w roślinach starszych. Niektóre gatunki roślin zawierają bardzo dużo potasu, zwłaszcza na podłożach obfitujących w ten składnik.

Liście warzyw kapustnych (krzyżowych) stanowiące odpady ze zbioru, obrotu i przetwórstwa plonów zawierają przeważnie około 3 (2÷4) % N i 40÷45 % C. Wskaźnik C:N wynosi więc 15÷25 (średnio 20).

Liście warzyw korzeniowych (buraki, marchew, pietruszka) zbierane w okresie wegetacyjnym zawierają więcej azotu i pozostałych składników niż zbierane w stanie

dojrzałości technicznej. Przeciętna zawartość azotu w okresie wegetacyjnym wynosi około 3 %, a w stanie dojrzałości technicznej około 2 %.

Obornik. Wyróżnia się obornik bydlęcy, trzody chlewnej, stajenny (koński), pomiot ptasi, owczy. Pod pojęciem obornika rozumie się głównie odchody bydlęce i trzody chlewnej wraz ze ściółką słomy roślin zbożowych. Obornik może być świeży (słomiasty) i w różnym stopniu rozłożony (przefermentowany), co decyduje w znacznym stopniu o jego składzie chemicznym, zwłaszcza o stosunku węgla do azotu (C:N).

Obornik zawiera przeciętnie 25 % suchej masy i 75 % wody. Zawartość azotu, fosforu i potasu wykazuje bardzo duże wahania. Przyjmuje się, że przeciętne zawartości w oborniku o 25 % suchej masie wynoszą (Maćkowiak 1986):

- ✓ 0,5 (0,04÷2,99) % N; w suchej masie średnio około 2,0 % N,
- ✓ 0,3 (0,03÷1,88) % P_2O_5 ; w suchej masie średnio około 1,2 % P_2O_5 ,
- ✓ 0,7 (0,06÷3,42) % K_2O ; w suchej masie średnio około 2,8 % K_2O .

Wskaźnik C:N w oborniku świeżym wynosi 25÷30 lub więcej, a w oborniku przefermentowanym 15÷20.

Pomiot ptasi, zwłaszcza kury, jest znacznie zasobniejszy w azot i fosfor. Według Maćkowiaka (1986) pomiot kury o 56 % zawartości wody wykazał 1,6 % N; 1,5 % P_2O_5 ; 0,8 % K_2O ; 2,4 % CaO i 0,7 % MgO. Pomiot gęsi i kaczki (o 70:77 % zawartości wody) zawierał 0,5÷1,0 % N; 0,5÷1,4 % P_2O_5 ; 0,6÷0,9 % K_2O ; 0,8÷1,6 % CaO i 0,2÷0,3 % MgO.

Mazur i Wojtas (1983) określili zawartości węgla i azotu w pomiole kurzym, kaczym, gęsim i indyckim. Wyliczone na tej podstawie stosunki C:N wynoszą odpowiednio 9,0 – 15,3 – 13,7 – 10,0.

Drewno większości gatunków roślin zawiera 47÷50 % węgla i poniżej 0,1 % azotu. Wskaźnik C:N wynosi więc około 500.

Wróblewska (1998) w trocinach sosny stwierdziła 50,5 % C i 0,16 % N (C:N = 308).

Według Prosińskiego (1984) drewno 30 letniej gruszy zawierało 47,4 ÷ 49,9 % C.

Badane przez Wróblewską (1998) płyty wiórowe sklejone żywicą mocznikowo-formaldehydową, zawierały 39,2 % C i 3,42 % N (C:N=11).

Kora drzewna zawiera zbliżone do drewna ilości węgla i azotu. W korze trzydziestoletniej gruszy stwierdzono 46,3÷52,5 % C (Prosiński 1984)

Liście gruszy zawierały 45 % C.

Masa łapana z przemysłu celulozowo-papierniczego stanowi około 1 mln ton rocznie na składowiskach zalega jej ponad 3 mln ton. Wskaźnik C:N w masie łapanej jest podobny jak w drewnie.

Odpady tytoniowe (Piecuch i in. 1997) zawierają: 35,4 ÷ 37,1 % C i 1,9 ÷ 2,2 % N. Wskaźnik C:N wynosi 15,5÷18,9.

Torfy i namuły organiczne (mułowe właściwe) zależnie od gatunku i stopnia rozkładu (mineralizacji) zawierają do 99 % części organicznych i do 5 % azotu (Gleboznawstwo 1981):

- ✓ torfy niskie 66÷93 % części organicznych i 1,6÷3,7 % N
- ✓ torfy wysokie 92÷99 % części organicznych i 0,4÷0,9 % N
- ✓ torfy niskie zmruszałe (gleby torfowo-murszowe) 55÷64 % części organicznych i 3,1÷4,5 % N (C:N=13÷20)

- ✓ gytie zmurszałe 60÷70 % części organicznych i 4,5÷5,0 % N (C:N około 7)
- ✓ utwory mułowe właściwe 43÷85 % części organicznych i 1,6÷3,7 % N.

Stosunek C:N w kilku warstwach gleby torfowo-murszowej wynosi 12,9÷19,8 (Album 1986)

Węgłe brunatne zawierają od kilkudziesięciu do ponad 90 % części organicznych (zwanych węglem) i od około 6 do ponad 50 % części mineralnych (popielnych) (Ney i in. 1982). Podobnie jak drewno węgiel brunatny zawiera znikome ilości azotu.

ZAWARTOŚĆ METALI CIĘŻKICH W SUROWCACH DO KOMPOSTOWANIA

Głównym celem przerobu masy roślinnej jest produkcja kompostu o dużej wartości nawozowej i glebotwórczej. O tym decyduje przede wszystkim duży udział próchnicotwórczej substancji organicznej i składników pokarmowych dla roślin. O wartości użytkowej kompostu stanowi także zawartość w nim metali ciężkich, których nadmiar może zanieczyszczać glebę i jej płody. Kompostom dopuszczonym do powszechnego użytkowania w uprawie roślin jadalnych i paszowych stawia się bardzo duże wymagania. Według Mayera (RFN) mogą one zawierać w kilogramie suchej masy tylko do:

- 1,5 mg kadmu (Cd),
- 100 mg miedzi (Cu),
- 400 mg cynku (Zn),
- 100 mg chromu (Cr),
- 150 mg ołowiu (Pb),
- 50 mg niklu (Ni).

Takie same wymagania należy postawić producentom kompostu w Polsce.

W procesie kompostowania znaczna część masy roślinnej ulega mineralizacji. Powoduje to wzrost koncentracji składników mineralnych, w tym metali ciężkich. Zależnie od podatności masy organicznej na mineralizację i stan dojrzałości kompostu ubytek suchej masy wyniesie 25÷50 %. Jeżeli ubytek masy organicznej w procesie kompostowania wyniesie 50 %, to w stanie wyjściowym nie powinna zawierać więcej niż 0,75 mg Cd, 50 mg Cu, 200 mg Zn, 50 mg Cr i 25 mg Ni w kg suchej masy. Według powyższego kryterium należy oceniać przydatność surowca roślinnego do produkcji wysokiej jakości kompostu. Nie wszystkie składowe części masy kompostowanej muszą spełniać powyższe wskaźniki, jeżeli inne jej komponenty zawierają dużo mniejsze ilości metali ciężkich. W obrębie wielogatunkowej masy roślinnej zebranej z jednej powierzchni mogą występować skupiska o nadmiernych ilościach metali ciężkich, a przeciętna ich zawartość nie przekroczy dopuszczalnego poziomu.

Niektóre gatunki roślin, zwłaszcza dwuliściennych, pobierają wielokrotnie więcej metali ciężkich od innych. Ponadto w młodocianym stadium życia wszystkie gatunki roślin zawierają więcej metali ciężkich niż w stanie dojrzałym.

Rośliny ze środowisk wodnych o naturalnych koncentracjach metali ciężkich zawierają znikome ilości tych składników. Mogą one być, więc kompostowane bez obawy o jakość produktu. W miejscach o nadmiernych koncentracjach metali ciężkich w glebie (względnie innym podłożu) lub w powietrzu masa roślinna zawiera ich wielokrotnie

więcej od zawartości przeciętnych. Na obszarach dużego zapylenia powietrza przeważa zewnętrzne (powierzchniowe zanieczyszczenie roślin) nad wewnętrznym (fizjologicznym). Dla jakości kompostu mają jednakowe znaczenie oba rodzaje zanieczyszczenia masy roślinnej. Spośród metali ciężkich tylko kadm i cynk są kumulowane przez rośliny w ilościach przekraczających 50 % dopuszczalnej ich zawartości w kompostach kwalifikowanych do powszechnego stosowania. Ilustrują to zawartości metali ciężkich w:

- roślinach z podłoża osadowych w komunalnych oczyszczalniach ścieków (tabela 2),
- roślinach ze składowisk odpadów i gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi (tabela 2),
- roślinach z podłoża osadowych w oczyszczalni ścieków Hajdów (tabela 3),
- roślinach z podłoża kompostowego w Radiowie (tabela 3),
- roślinach uprawianych na terenach miejskich i przemysłowych o dużym zanieczyszczeniu,
- roślinach doświadczenia rekultywacyjnego z zastosowaniem osadu ściekowego i kompostu z Radiowa (tabela 5),
- w masach roślinnych z pielęgnacji zieleni miejskiej w Warszawie,
- masie roślinnej selektywnie gromadzonej z odpadów gospodarstw domowych Warszawy (tabela 3),
- w odpadach tytoniowych przeznaczonych do kompostowania (tabela 3).

Rośliny (głównie dwuliścienne) z osadowych podłoża zawierały ponad:

- 200 mg Zn/kg s.m. w 43 na 80 próbek analizowanych,
- 1 mg Cd/kg s.m. w 34 na 74 próbek analizowanych (tabela 2).

W roślinach ze składowisk odpadów i gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi stwierdzono ponad:

- 200 mg Zn/kg s.m. - 2 przypadki na 73 próbek analizowanych,
- 1 mg Cd/kg s.m. - 17 przypadków na 78 próbek analizowanych.

Zawartość metali ciężkich w kilku gatunków roślin z podłoża obfitujących w te składniki przedstawia tabela 3.

Salata kompasowa wyróżnia się największą kumulacją cynku. Z podłoża kompostowego zawierała 926÷1030 mg Zn/kg s.m. a z osadowego 392÷738 mg.

Największą kumulację kadmu stwierdzono u bylicy pospolitej (do 36,4 mg w kg s.m.), w sałacie kompasowej (do 20,6 mg) i komosie białej (8,6 mg) z podłoża osadowego w Hajdowie. Trawy z tego podłoża zawierały 0,50÷4,86 mg Cd/kg s.m. (tabela 4).

Zielone części warzyw z rejonu Krakowa zawierały 32÷382 mg Zn i 0,26÷2,45 mg Cd/kg s.m. (tabela 4). W liściach buraka pastewnego stwierdzono natomiast 88÷722 mg Zn i 0,78÷3,15 mg Cd/kg s.m.

W strefie ochronnej Huty Głogów rośliny zawierały:

- 0,10÷0,40 mg Cd,
- 13,6÷47,3 mg Cu,
- 27,0÷68,0 mg Zn,
- 4,0÷17,0 mg Pb,

- $0,5 \div 1,0$ mg Ni,
- $1,0 \div 50$ mg Cr/kg s.m.

Stanowią, więc doskonały surowiec do produkcji kompostu na potrzeby użytkowników spoza obszaru strefy oddziaływania Huty na środowisko.

Rośliny z doświadczenia rekultywacyjnego, w którym zastosowano osad ściekowy i kompost z Radiowa zawierały $34 \div 183$ mg Zn i $0,05 \div 0,47$ mg Cd/kg s.m. (tabela 5). W wariantach z 15 i 30 cm warstwą kompostu nałożonych na podłoże wapna poflotacyjnego, rośliny zawierały $183 \div 307$ mg Zn i $0,18 \div 0,48$ mg Cd/kg s.m. Rośliny z analogicznych wariantów podłoża osadowego zawierały $117 \div 193$ mg Zn i $0,25 \div 0,39$ mg Cd/kg s.m.

Wynika z powyższego, że intensywne użyznienie osadem ściekowym i kompostem z Radiowa nie dyskwalifikuje pól trawy jako surowca do produkcji wysokiej jakości kompostu.

Masa roślinna z pielęgnowania zieleni warszawskiej zawierała $38,8 \div 184$ mg Zn i $0,1 \div 1,1$ mg Cd/kg s.m. Zawartości pozostałych metali ciężkich są nadmierne dla paszowego użytkowania roślin ale wielokrotnie mniejsze od przedziałów optymalnych dla kompostu.

Odpad roślinny z przemysłu tytoniowego (Piecuch i in. 1997) zawierał $1,38 \div 1,90$ mg Cd/kg s.m., czyli nadmierne ilości dla surowca kompostowego. W mieszaninie z masą roślinną o małej zawartości kadmu odpady tytoniowe mogą być jednak kompostowane.

Zawartości pozostałych metali ciężkich w odpadzie tytoniowym są również duże, ale wielokrotnie mniejsze od dopuszczalnych w kompoście (tabela 3).

Zawartości mikroelementów w wegetatywnych częściach roślin uprawnych stanowiących podstawowe zasoby surowców do produkcji kompostu i obornika przedstawia tabela 6. Spośród jej danych na uwagę zasługują zawartości cynku i miedzi. Mówią one o przedziałach naturalnych zawartości tych metali w roślinach i o zapotrzebowaniu roślin na te składniki. Wszystkie gatunki roślin wykazały duże wahania zawartości cynku i miedzi. Średnie zawartości w słomie czterech zbóż i rzepaku są zbliżone do siebie. Liście buraków zawierają ponad dwukrotnie więcej cynku i miedzi niż słoma zbóż (tabela 6).

Pozostałe mikroelementy (B, Mn, Mo, Fe) nie stanowią o jakości surowca do kompostowania, ale mogą być przydatne w ocenie zasobności kompostu w te mikroskładniki nawozowe.

UŻYTKOWANIE KOMPOSTU

Użyteczność kompostu zależy głównie od jakości surowca, technologii produkcji i stanu dojrzałości produktu.

Jakość kompostu ocenia się na podstawie zawartości substancji organicznej i składników pokarmowych dla roślin, przy dopuszczalnej zawartości metali ciężkich i chorobotwórczych organizmów.

Czynnikami pomniejszającymi lub dyskwalifikującymi wartość użytkową kompostu są:

- ✓ znaczący udział szkła, ceramiki i innych nierozkładalnych części,
- ✓ znaczna zawartość nasion roślin zachwaszczających ziemię i uprawne rośliny.

Optymalna zawartość substancji organicznej w kompoście wynosi $40 \div 50$ % suchej masy. W kompostach bardzo dojrzałych (silnie zmineralizowanych) substancja organiczna może stanowić około 30 %, a w kompostach młodych z masy roślinnej lub torfu może wynosić ponad 60 %.

Stan dojrzałości (mineralizacji biomasy) kompostu znajduje swoje odbicie w przewodzie zawartości węgla organicznego nad azotem (C : N). Wskaźnik C : N zmniejsza się z około $25 \div 20$ do $15 \div 10$ w miarę dojrzewania kompostu.

Przewaga węgla nad azotem w kompoście zależy także w bardzo dużym stopniu od wskaźnika C : N w surowcu kompostowym. Zakłada się jednak, że C : N w surowcu kompostowym będzie korygowany w przedziale $25 \div 40$. Zawartość azotu w suchej masie kompostu dojrzałego wynosi przeważnie $0,9 \div 1,3$ %.

Udziały fosforu, potasu, wapnia i magnezu w kompostach zależą od wielu czynników, toteż wykazują bardzo duże rozpiętości zawartości tych składników.

Odmienność składu mineralnego poszczególnych surowców roślinnych jest wystarczającym powodem zróżnicowanego chemizmu kompostów. Wspólne kompostowanie masy roślinnej z osadami ściekowymi oraz z innymi odpadami organicznymi jeszcze bardziej różnicuje chemizm produktu. Korekta zawartości składników mineralnych powinna uwzględniać agrochemiczne wymagania użytkowników. Wiadomo, że są one odmienne, tak jak różne są cele i sposoby użytkowania kompostów:

- ✓ nawożenie gleb i roślin,
- ✓ melioracyjne użyźnianie gleb,
- ✓ rekultywacja gruntów bezglebowych,
- ✓ produkcja podłoża do niegruntowej uprawy roślin,
- ✓ produkcja preparatów nawozowych.

Nawozowe użytkowanie kompostu polega na stosowaniu go w sposób analogiczny do obornika, czyli zamiast obornika. Głównym celem nawozowego użytkowania kompostu jest zachowanie próchniczności gleby z możliwością jej poprawy. Warunkuje ona aktywność biologiczną i agrotechniczną sprawność gleby. Dostarczanie makroskładników pokarmowych jest istotne, ale nie pierwszoplanowe. Inaczej jest wtedy, gdy nawożenie gleby sprowadza się do stosowania wyłącznie kompostu.

Dawka nawozowa kompostu nie powinna zawierać nadmiernej ilości azotu dostępnego dla roślin. Projekt „Polskiego kodeksu dobrej praktyki rolniczej” zakłada, że dawka roczna azotu na hektar nie może przekraczać 170 kg. Taką ilość azotu można wprowadzić do gleby corocznie pod warunkiem nie stosowania innych nawozów zawierających azot.

Ponieważ kompost jest nawozem organicznym, to podobnie jak obornik może być stosowany raz na 3 lub 4 lata. Wtedy mnożymy 170 kg N przez ilość lat (3 lub 4) otrzymując 510 lub 680 kg N/ha. Przy 1 % zawartości N możemy zastosować 17 t s.m. kompostu na hektar rocznie. Maksymalna dawka trzyletnia wyniesie ponad 51 ton s.m./ha. Mając na względzie około 50 % udział wody w kompoście świeżym całkowita masa wyniesie około 100 t/ha w ciągu trzech lat. Tak duże ilości kompostu trudno będzie pozyskać do nawożenia upraw polowych. Mogą one być jednak stosowane w uprawie warzyw.

Oprócz kryterium azotowego barierę stanowi zawartość metali ciężkich. Według normy zachodnioeuropejskiej kompost może zawierać do (Mayer):

- ✓ 150 mg Pb/kg s.m.,
- ✓ 1,5 mg Cd/kg s.m.,
- ✓ 100 mg Cr/kg s.m.,
- ✓ 50 mg Ni/kg s.m.,
- ✓ 1,0 mg Hg/kg s.m.,
- ✓ 400 mg Zn/kg s.m.

Nadmienia się, że wymienione progi ustalono dla kompostów zawierających 30 % substancji organicznej w suchej masie. Oznacza to, że kompost o 45 % zawartości substancji organicznej może mieć o 50 % więcej metali ciężkich od podanych wyżej. W nawozowym i melioracyjnym użytkowaniu kompostu liczy się najbardziej próchnicotwórcza substancja organiczna.

W kompostowniach roślinnych tylko zawartość kadmu przekracza niekiedy poziom dopuszczalny. 1,5 mg/s.m. (tabela 7).

Melioracyjne użyczenie gleby kompostem ma poprawić znacząco warunki życia roślin, przez zwiększenie zawartości próchnicy i składników pokarmowych oraz retencji wody.

Zależnie od jakości gleby oraz jej przeznaczenia stosuje się różne sposoby melioracyjnego użyczenia kompostem. Dopuszcza się też stosowanie różnej jakości kompostu.

Melioracyjne użyczenie gleby kompostem stosuje się najczęściej:

- ✓ na terenach zieleni miejskiej, rekreacyjnej, przemysłowej w czasie jej urządzania, konsekwencji i odnawiania,
- ✓ w ogrodach przydomowych i działkowych,
- ✓ w produkcji warzyw, krzewów i roślin ozdobnych,
- ✓ w szkółkach produkujących sadzonki drzew i krzewów różnego przeznaczenia,
- ✓ na gruntach ornych, łąkach i pastwiskach słabej jakości,
- ✓ w leśnym i nieleśnym zadrzewianiu gleb jałowych (zaprawianie dołków).

Wielkość dawki kompostu na jednostkę powierzchni należy dostosować do jej melioracyjnej funkcji. Zależy ona więc od stanu gleby, potrzeby ulepszenia, żyzności środowiska, jakości kompostu. Miernikiem melioracyjnej jakości kompostu jest zawartość w nim substancji organicznej i wskaźnik C : N.

Kompost stosowany do użyczenia gleb produkujących żywność powinien spełniać te same progi dopuszczalnych zawartości metali ciężkich, jak w użytkowaniu nawozowym. Na terenach zieleni miejskiej, rekreacyjnej, przemysłowej, w szkółkach drzew i krzewów, do sadzenia drzew i krzewów nieowocowych dopuszcza się znacznie większe zawartości metali ciężkich.

Minimalna melioracyjna dawka kompostu powinna zawierać co najmniej 25 t on suchej masy organicznej na hektar. Przy 50 % zawartości substancji organicznej stanowi to około 50 t s.m. kompostu na hektar (około 100 t świeżej masy).

Łączna dawka zastosowanego kompostu, podobnie jak osadu ściekowego, nie powinna spowodować przekroczenia dopuszczalnych zawartości metali ciężkich w wierzchniej (25 cm) warstwie gleby (tabele 8 i 9).

Rekultywacyjne użytkowanie kompostu różni się od użytkowania melioracyjnego, tym, że dotyczy gruntów bezglebowych, które trzeba przysposobić (użyźnić) do zagospodarowania roślinnego.

Rekultywacyjna dawka kompostu na jednostkę powierzchni zależy od wielu czynników. Głównie od jakości i przeznaczenia gruntu zrekultywowanego oraz od dostępności i jakości kompostu.

Minimalna dawka kompostu powinna stworzyć warunki do życia roślin na zrekultywowanym gruncie. W tym celu trzeba wprowadzić do gruntu, co najmniej 25 ton substancji organicznej. Gdy kompost zawiera jej 50 % substancji organicznej to należy zastosować go, co najmniej 50 t suchej masy na hektar (około 100 m³).

Dopuszczalne poziomy zawartości metali ciężkich w gruntach rekultywowanych i w kompostach są takie same jak przy melioracyjnym użyźnianiu gleb.

Podłoża do niegruntowej uprawy roślin mają coraz większe zastosowanie w produkcji sadzonek, warzyw, kwiatów. Kompost jest doskonałym składnikiem takich podłoży w mieszankach z mineralnymi (szkieletowymi) tworzywami (komponentami). Musi on być jednak dobrze dojrzały oraz spełniać chemiczne, biologiczne i odczynowe wymogi tych roślin, dla których przeznacza się podłoża. W uprawie roślin jadalnych zawartość metali ciężkich i chorobotwórczych organizmów powinny być kontrolowane w sposób zapewniający sanitarną i pokarmową jakość plonów.

Kompost do produkcji preparatów nawozowych jest stosowany przez różne firmy według własnych receptur. Preparaty nawozowe to wieloskładnikowe nawozy organiczno-mineralne o stałej lub płynnej konsystencji.

Zawierają one przeważnie określone (regulowane) kompleksy makro i mikroskładników oraz nieokreślone kompleksy biologicznie czynnych związków organicznych.

Do produkcji preparatów nawozowych szczególnego przeznaczenia mogą być stosowane komposty zawierające duże ilości mikroelementów (metali ciężkich) pokarmowych (np. cynk i miedź). Dotyczy to również osadów ściekowych oraz innych odpadów obfitujących w mikroelementy pokarmowe.

Płynne preparaty nawozowe mogą mieć szczególnie duże zastosowanie w uprawie warzyw i roślin ozdobnych.

Należy oczekiwać znacznego postępu w badaniach i technologiach produkcji organiczno-mineralnych preparatów nawozowych oraz ich użytkowania.

WNIOSKI

1. Kompost jest koncentratem próchnicy glebowej, wyprodukowanym bez udziału gleby, ale z zastosowaniem biotechnologii naśladującej procesy rozkładu i humifikacji masy roślinnej w środowisku glebowym.
2. Kompost jest nawozem organicznym. Glebotwórcza i agrotechniczna wartość kompostu przewyższa pozostałe nawozy organiczne. Uzasadnia to celowość kompostowania mas biologicznych przeznaczonych do nawożenia.
3. Do produkcji kompostu nadają się wszystkie rodzaje masy roślinnej (po odpowiednim przygotowaniu), większość osadów z biologicznego oczyszczania ścieków, torf, miał węgla brunatnego, różne przemysłowe odpady organiczne

pochodzenia biologicznego. Ze względu na bardzo duże wahania zawartości azotu i pozostałych składników mineralnych w poszczególnych roślinach oraz innych surowcach, korzystne jest wspólne kompostowanie mas biologicznych o odmiennym chemizmie.

4. Stosunek ilościowy węgla organicznego do azotu (C : N) w biomase ma zasadnicze znaczenie dla prawidłowego przebiegu procesu kompostowania oraz wartości użytkowej kompostu. Należy dążyć aby wskaźnik C : N w kompostowanej masie wynosił $25 \div 40$.
5. O wartości użytkowej kompostu decydują głównie jakość surowca, technologia produkcji i stan dojrzałości. Zawartość substancji organicznej i stosunek ilościowy C : N to najważniejsze wskaźniki glebotwórczej i nawozowej wartości kompostu. Czynniki ograniczającymi wartość użytkową kompostu są nadmierne zawartości metali ciężkich, chorobotwórczych organizmów i obecność nasion roślin – zachwaszczających glebę i uprawiane rośliny.
6. Wielorakość sposobów użytkowania kompostu daje możliwości zagospodarowania, także jego gorszych asortymentów.
7. Wobec potencjalnie dużych możliwości kompostowania biomasy i użytkowania kompostu, niezbędne jest nasilenie badań technologicznych i aplikacyjnych oraz prowadzenie edukacji w tym zakresie na wszystkich szczeblach nauczania i wychowania.

LITERATURA

- [1] Album gleb Polski. 1986. PTG Warszawa
- [2] BERNACKA J., Pawłowska L. 1994: *Zagospodarowanie i wykorzystanie osadów z miejskich oczyszczalni ścieków*. IOŚ Warszawa
- [3] CHOJNACKI A., Boguszewski W. 1971: *Zawartość azotu, fosforu i potasu w głównych roślinach uprawnych w Polsce*
- [4] CZUBA R., Andruszczak E. 1983: *Zawartość mikroelementów w roślinach uprawnych w krajowej sieci gospodarstw kontrolnych. Zeszyty problemowe postępu nauk rolniczych*. Z.242
- [5] CZUBA R., Siuta J. 1976: *Agroekologiczne podstawy nawożenia*. PWRiL Warszawa
- [6] CUZYDŁO J. 1986: *Akumulacja metali ciężkich w roślinach uprawianych w rejonie strefy ochronnej Kombinatu Huty im. Lenina*. Zeszyty naukowe AGH. Sozologia i sozotechnika 1031 z.21
- [7] Gleboznawstwo 1981 (pod red. B. Dobrzańskiego, S. Zawadzkiego) PWRiL Warszawa
- [8] GODZIK B., Grodzińska K., Szarek G. 1995: *Wegetables and soil contamination with heavy metals in allotment gardens in Kraków agglomeration – ten years studies*. Archiwum Ochrony Środowiska
- [9] GOTKIWICZ J., Brzezicki M., Czech W. 1974: *Zasobność gleb torfowiska Kuwasy w fosfor potas oraz zawartość składników pokarmowych w sianie*. Wiadomości IMUZ, t.12 z.1.
- [10] KAMIŃSKA W., Kardasz T., Strahl A., Szyborska H. 1976: *Skład chemiczny roślin uprawnych i niektórych pasz pochodzenia roślinnego*. IUNG 76. Puławy

- [11] MAYER A.: Die moderne kompostierung. Willibald GmbH. Wald-Sentenhart.
- [12] MAĆKOWIAK Cz. 1986: *Nawozy organiczne. Nawożenie* (pod red. R. Czuby). PWRiL Warszawa
- [13] MAZUR T., Woytas A. 1983: *Zawartość suchej masy i makroskładników w pomiole drobiowym*. Roczniki gleboznawcze 34,3
- [14] NEY R. i in. 1982: *Ocena warunków geologiczno-złożowych i zasobów perspektywicznych złóż węgla brunatnego w Polsce* (maszynopis) KGSM PAN Kraków
- [15] *Nawożenie mineralne roślin uprawnych* (pod red. R. Czuby) Police 1996
- [16] PIECUCH T. i in. 1997: *Możliwości i celowość dodatku pyłów tytoniowych do wsadu w procesie kompostowania odpadów komunalnych. Ochrona powietrza i problemy odpadów nr 6*.
- [17] POREBSKA G., Ostrowska A. 1999: *Chemizm roślin z terenów składowania odpadów. Ochrona środowiska i zasobów naturalnych* 16
- [18] PROSIŃSKI S. 1984: *Chemia drewna*. PWRiL. Warszawa
- [19] SIUTA J., Żukowska-Wieszczyk D. 1990: *Przyrodniczo-techniczne podstawy oczyszczania atmosfery i gleby*. IOŚ Warszawa
- [20] SIUTA J. i in. 1996: *Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost*. IOŚ Warszawa

Tabela 1. Średnie zawartości składników w roślinach (wg Kamińskiej, Kardasza i Strahla 1973, za Czuba i Siutą, 1976)

Nazwa rośliny lub odpadu roślinnego	Procent w suchej masie [% s.m.]				
	N	P	K	Ca	Mg
Słoma pszenna	0,68	0,10	1,18	0,27	0,10
Słoma żyt	0,53	0,08	1,04	0,21	0,07
Słoma jęczmienna	0,65	0,12	1,70	0,51	0,13
Słoma owsiana	0,78	0,15	2,28	0,48	0,12
Łęty ziemniaczane	2,53	0,17	3,56	2,27	0,36
Liście buraka cukrowego	3,30	0,31	4,96	1,56	0,66
Słoma rzepaku	0,68	0,13	1,69	1,67	0,13
Siano koniczyny	2,45	0,25	2,09	1,39	0,25
Siano lucerny	2,76	0,26	2,48	1,35	0,22
Siano łąkowe	1,89	0,27	1,90	0,71	0,22

Tabela 2. Zawartości metali ciężkich w różnych gatunkach roślin ze składowisk odpadów, osadów ściekowych i z gleb zanieczyszczonych

Metal	Przedziały zawartości metali w mg/kg s.m.											
	do 0,5	0,6 ÷ 1,0	1,1 ÷ 2,0	2,1 ÷ 3,0	3,1 ÷ 5,0	5,1 ÷ 10,0	10,1 ÷ 20,0	20,1 ÷ 50,0	50,1 ÷ 100,0	100,1 ÷ 200,0	200,1 ÷ 400,0	ponad 400
	Ilości analizowanych próbek roślinnych											
Rośliny ze składowisk odpadów i gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi												
Miedź (Cu)	0	2	0	2	6	39	61	2				
Cynk (Zn)	0	0	0	0	0	1	1	39	24	8	2	
Chrom (Cr)	7	62	19	6	9	3	4	1				
Nikiel (Ni)	28	26	26	4								
Kadm (Cd)	61	15	1	1								
Ołów (Pb)	35	43	16	8	1	1						
Rośliny z podłoża osadów ściekowych komunalnych												
Miedź (Cu)	0	0	0	0	7	32	23	6	1			
Cynk (Zn)	0	0	0	0	0	0	0	3	16	18	24	19
Chrom (Cr)	38	14	15	0	0	2	1					
Nikiel (Ni)	0	8	2	8	8	4	3	4				
Kadm (Cd)	40	9	14	6	2	2	1					
Ołów (Pb)	7	18	15	6	15	12	3	0	1			

Tabela 3. Zawartości metali ciężkich w roślinach z podłoża obfitujących w te składniki oraz w odpadach roślinnych przeznaczonych do kompostowania

Rodzaj masy roślinnej	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Ni
	mg/kg s.m.					
Rośliny z podłoża osadowego w oczyszczalni ścieków Hajdów						
Trawy	8,5 ÷ 16,7	0,5 ÷ 1,5	69 ÷ 354	1,0 ÷ 7,0	0,50 ÷ 4,86	2,0 ÷ 9,0
Bylica pospolita	9,8 ÷ 38,6	1,0 ÷ 1,5	163 ÷ 367	1,0 ÷ 3,0	1,70 ÷ 36,40	2,0 ÷ 7,0
Łoboda błyszcząca	9,7 ÷ 11,4	0,5 ÷ 1,0	50 ÷ 140	1,0 ÷ 2,0	0,47 ÷ 1,75	2,0
Komosa biała	9,9	0,5	247	2,0	8,65	3,0
Salata kompasowa	11,5 ÷ 17,4	1,0 ÷ 1,5	392 ÷ 738	1,0 ÷ 4,0	15,4 ÷ 20,60	3,0 ÷ 8,0
Rośliny z podłoża kompostowego w Radiowie						
Salata kompasowa	14,2 ÷ 17,9	2,0 ÷ 3,0	926 ÷ 1030	1,0 ÷ 3,0	2,90 ÷ 3,39	0,1 ÷ 0,2
Łoboda błyszcząca	12,1 ÷ 16,4	2,0	300 ÷ 431	1,0 ÷ 3,0	0,32 ÷ 0,77	1,0 ÷ 4,0
Komosa biała	12,0	1,5	658	1,0	1,54	0,5
Masa roślinna gromadzona selektywnie do kompostowania						
Odpady bio Warszawa	19,0 ÷ 87,0	2,4 66,0	42 ÷ 158	10,0 ÷ 64,0	0,50 ÷ 1,30	5,0 ÷ 10,0
Masa roślinna przywożona z terenów zieleni do kompostowania						
Odpady zieleni warszawskiej	5,1 ÷ 45,7	0,7 ÷ 9,6	42 ÷ 158	4,8 ÷ 8,2	0,10 ÷ 1,10	n.o.
Odpady tytoniowe przeznaczone do kompostowania						
Odpady tytoniowe	17,0 ÷ 23,1	6,3 ÷ 9,3	75 ÷ 82	7,3 ÷ 10,6	13,8 ÷ 19,0	6,8 ÷ 11,4

Tabela 4. Zawartości metali ciężkich w roślinach z terenów miejskich i przemysłowych o dużym zanieczyszczeniu

Rodzaj masy roślinnej	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Ni	Źródło informacji
	mg/kg s.m.						
Kapusta, liście zewnętrzne	4,1 ÷ 10,4	2,4 ÷ 8,9	43 ÷ 128	n.o.	0,26 ÷ 0,76	n.o.	Cuzydło 1986
Kapusta, liście wewnętrzne	2,6 ÷ 7,1	0,6 ÷ 1,9	33 ÷ 72	n.o.	0,31 ÷ 0,80	n.o.	Cuzydło 1986
Salata*	10,2	4,6	80	2,5	1,50	2,5	Godzik i in. 1995
Pietruszka, liście*	8,4	4,3	73	1,9	0,54	2,5	Godzik i in. 1995
Kapusta*	4,7	1,5	36	1,7	0,47	2,4	Godzik i in. 1995
Salata	4,2 ÷ 11,8	4,1 ÷ 1,82	32 ÷ 93	n.o.	0.73 ÷ 1,64	n.o.	Cuzydło 1986
Pietruszka, liście	11,2 ÷ 14,8	8,4 ÷ 27,3	66 ÷ 298	n.o.	0,36 ÷ 1,18	n.o.	Cuzydło 1986
Burak ćwikłowy, liście	5,0 ÷ 11,2	8,2 ÷ 12,7	66 ÷ 128	n.o.	0,58 ÷ 1,23	n.o.	Cuzydło 1986
Burak pastewny, liście	n.o.	5,2 ÷ 12,7	88 ÷ 722	n.o.	0,78 ÷ 3,15	n.o.	Pacult 1994
Kapusta, liście zewnętrzne	n.o.	3,1 ÷ 22,7	40 ÷ 382	n.o.	0,42 ÷ 2,45	n.o.	Pacult 1994

* średnie zawartości metali

Tabela 5. Zawartość metali ciężkich w trawach z podłoży użyźnionych osadem ściekowym lub kompostu z Radiowa

Podłoże	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Ni
mg/kg s.m.						
Podłoża użyźnione kompostem z Radiowa						
wapno poflotacyjne	6,6 ÷ 13,3	1,2 ÷ 4,6	135 ÷ 183	0,6 ÷ 1,0	0,21 ÷ 0,47	1,8 ÷ 3,1
popiół	8,3 ÷ 13,0	1,1 ÷ 3,8	50 ÷ 86	0,7 ÷ 1,3	0,05 ÷ 0,18	1,1 ÷ 1,9
piasek	9,2 ÷ 12,2	1,5 ÷ 2,9	60 ÷ 109	1,0 ÷ 2,4	0,11 ÷ 0,18	0,5 ÷ 1,0
Podłoża użyźnione osadem ściekowym ze Stalowej Woli						
wapno poflotacyjne	10,0 ÷ 11,5	3,3 ÷ 4,2	94 ÷ 99	0,9 ÷ 1,0	0,24 ÷ 0,28	4,3 ÷ 4,9
popiół	9,2 ÷ 10,2	3,2 ÷ 3,5	39 ÷ 50	1,0 ÷ 1,5	0,06 ÷ 0,10	2,7 ÷ 3,3
piasek	9,7 ÷ 12,0	2,7 ÷ 5,1	34 ÷ 52	0,8 ÷ 1,4	0,09 ÷ 0,19	2,7 ÷ 4,2
Warstwa kompostu z Radiowa na wapnie poflotacyjnym						
kompost	8,7 ÷ 17,0	2,3 ÷ 5,6	183 ÷ 307	0,4 ÷ 0,8	0,18 ÷ 0,48	1,6 ÷ 2,2
Warstwa osadu z oczyszczalni ścieków w Stalowej Woli na wapnie poflotacyjnym						
osad	13,0 ÷ 19,5	4,5 ÷ 6,4	117 ÷ 193	0,9 ÷ 1,4	0,25 ÷ 0,39	8,4 ÷ 17,8

Tabela 6. Zawartości mikroelementów w roślinach w krajowej sieci gospodarstw kontrolnych (Czuba, Andruszczak 1983)

Wegetatywne części roślin	B	Cu	Mn	Mo	Zn	Fe	Ilość prób analizowanych
	mg/kg s.m.						
Słoma pszenna	0,6 ÷ 6,4	1,1 ÷ 9,2	9,8 ÷ 58,3	0,07 ÷ 0,65	4,4 ÷ 55,0	65,1 ÷ 37,02	121
	2,3 ÷ 2,9	2,0 ÷ 3,0	27,7 ÷ 34,7	0,16 ÷ 0,30	14,6 ÷ 19,1	115,0 ÷ 19,1	
Słoma jęczmienna	2,5 ÷ 6,3	1,2 ÷ 4,2	11,9 ÷ 73,6	0,07 ÷ 0,77	9,7 ÷ 96,3	49,3 ÷ 189,9	39
	4,4	2,9	41,1	0,27	25,5	124,8	
Słoma żytnia	1,1 ÷ 2,8	1,3 ÷ 3,0	8,7 ÷ 62,3	0,01 - 0,44	7,1 ÷ 31,9	42,5 ÷ 184,0	42
	2,5	2,1	42,7	0,25	19,9	98,4	
Słoma owsiana	1,4 ÷ 4,4	1,3 ÷ 4,3	25,6 ÷ 181,9	0,01 ÷ 0,48	8,7 ÷ 56,9	77,8 ÷ 270,5	35
	3,8	2,4	82,5	0,23	24,8	122,0	
Rzepakzanka	9,6 ÷ 23,1	1,4 ÷ 10,0	6,5 ÷ 79,1	0,04 ÷ 0,76	5,0 ÷ 24,2	54,0 ÷ 500,0	58
	14,1	3,7	32,7	0,25	16,4	132,6	
Liście buraka cukrowego	10,6 ÷ 48,1	5,5 ÷ 28,3	14,8 ÷ 275,0	0,15 ÷ 0,92	22,9 ÷ 93,6	105,0 ÷ 999,5	49
	35,2	8,1	131,4	0,52	49,3	404,2	
Liście buraka pastewnego	26,1 ÷ 44,6	5,5 ÷ 9,7	14,7 ÷ 358,5	0,22 ÷ 0,41	30,0 ÷ 80,0	416,0 ÷ 638,0	6
	33,6	7,5	229,1	0,44	65,7	526,9	

$\frac{0,6 \div 6,4}{2,3 \div 2,9}$ wartości ekstremalne
wartości średnie

Tabela 7. Zawartość metali ciężkich w kompostach roślinnych i z odpadów miejskich

Źródła surowca kompostowanego	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cd	Cr	Ni
[mg/kg s.m.]								
Komposty z roślin uprawnych na gruntach użyźnionych osadami ściekowymi								
Składowisko popiołu w Puławach	1444 – 1784	52 – 80	54 – 89	10 – 13	7 – 9	0,40 – 0,60	4,4 – 7,8	2,8 – 5,5
Składowisko popiołu w Łodzi	274	40	15	4	15	0,80	3,5	4,2
Grunt rekultywowany w Kopalni „Jeziórko”	2874	310	375	27	35	1,44	8,0	25,4
Grunt oczyszczalni w Łasku	150	161	456	6	11	0,88	3,3	20,2
Kompost z roślin zieleni miejskiej								
Zieleń Warszawy	n.o	n.o	82-112	21-26	13-19	0,40-0,50	2-12	7,0-27,0
Kompost z odpadów organicznych miejskich gromadzonych selektywnie								
Osiedla Warszawy	n.o	n.o	200-340	48-62	28-64	0,60-1,00	18-22	10,0-12,0
Kompost z odpadów miejskich zbiorczych (nie selekcjonowanych)								
Warszawa	n.o.	n.o	660-2321	230-1040	100-505	1,0-13,9	28-389	10-189

Tabela 8. Dopuszczalne zawartości metali ciężkich w wierzchniej warstwie gleby (gruntu) przy stosowaniu kompostu na terenach przeznaczonych do użytkowania rolniczego

Metale	Zawartość metali ciężkich w mg/kg s.m. gleby (gruntu) nie większa niż		
	w glebach		
	lekkich	średnich	ciężkich
Ołów (Pb)	40	60	80
Kadm (Cd)	1	2	3
Rtęć (Hg)	0,8	1,2	1,5
Nikiel (Ni)	20	35	50
Cynk (Zn)	80	120	180
Miedź (Cu)	25	50	75
Chrom (Cr)	50	75	100

Tabela 9. Dopuszczalne zawartości metali ciężkich w wierzchniej warstwie gleby (gruntu) przy stosowaniu kompostu na terenach przeznaczonych do użytkowania nierolniczego

Metale	Zawartość metali ciężkich w mg/kg s.m. gleby (gruntu) nie większa niż		
	w glebach		
	lekkich	średnich	ciężkich
Ołów (Pb)	50	75	100
Kadm (Cd)	3	4	5
Rtęć (Hg)	1	1,5	2
Nikiel (Ni)	30	45	60
Cynk (Zn)	150	220	300
Miedź (Cu)	50	75	100
Chrom (Cr)	100	150	200

Jan SIUTA, Grażyna WASIAK
Instytut Ochrony Środowiska

ODPADY Z PIELEGNACJI ZIELENI ZASOBEM SUROWCA W PRODUKCJI KOMPOSTU

WPROWADZENIE

Roślinność terenów miejskich, rekreacyjnych, przemysłowych i komunikacyjnych pełni funkcje ekologiczne, krajobrazowe i estetyczne. Efektywność tych funkcji zależy głównie od intensywności wzrostu roślin czyli od produktywności biomasy.

Dobór gatunków oraz sposobów uprawy roślin oraz pielęgnacja terenów zieleni miejskiej mają optymalizować warunki funkcjonowania zieleni, głównie przez intensyfikację wzrostu i produkcji biomasy.

Pielęgnacja, konserwacja i renowacja zieleni wymagają usuwania i trawy, listowia drzew i krzewów, gałęzi oraz całych drzew i krzewów. Wielkości usuwanych mas są proporcjonalne do ekologicznej efektywności szaty roślinnej. Masa roślinna z terenów zieleni miejskiej jest usuwana głównie jako odpad uciążliwy dla środowiska i gospodarki komunalnej. Szacuje się, że odpady usuwane z terenów zieleni miejskiej stanowią ponad 18 % wszystkich odpadów komunalnych.

Według GUS (1999) zieleni miejska i osiedlowa zajmuje około 65 000 ha w Polsce. Przyjmując 5 ton rocznej produkcji masy roślinnej z ha otrzymamy około 325 000 ton suchego surowca o zawartości $0,5 \div 2,0$ % azotu.

W strukturze miast i osiedli mieszkaniowych znajdują się inne biologicznie czynne powierzchnie ziemi nie zaliczane do terenów zieleni miejskiej. Produktywność masy roślinnej terenów zurbanizowanych jest przeważnie bardzo duża, zwłaszcza na plantacjach warzyw, w ogrodach przydomowych i działkowych.

Tereny zieleni przemysłowej i komunikacyjnej wraz ze strefami ochronnymi i pasami izolacyjnymi, podobnie jak zieleni miejska, produkują bardzo dużo masy roślinnej. Bardzo duże kombinaty przemysłowe wraz z obszarami chemicznego zanieczyszczenia środowiska zajmują do 1000 i więcej ha gruntów pokrytych szatą roślinną, w której plony lub wegetatywne części roślin nie kwalifikują się na paszę.

Ukształtowanie i zachowanie ciągłości warunków ekologicznych do intensywnego wzrostu roślin wymaga odpowiedniego nawożenia gleby. Dotyczy to zwłaszcza próchniczotwórczego nawożenia organicznego. Systematyczne usuwanie biomasy z terenów zieleni miejskiej wyjąławia glebę z próchnicy i mineralnych składników pokarmowych. Ubytki te rekompensuje się przez stosowanie kompostów pochodzenia zewnętrznego i nawożenie mineralne.

Biomasa z pielęgnacji zieleni miejskiej stanowi uciążliwy odpad, a jej niedobory w glebie są uzupełniane przez biomasę przywożoną z terenów rolniczych, które także wymagają nawożenia organicznego.

Istnieją techniczne i ekonomiczne warunki racjonalizacji (naturalizacji) gospodarki glebotwórczą biomasą na terenach zieleni miejskiej i przemysłowej. Biomasa z pielęgnacji roślin o funkcjach ekologicznych nie powinna być usuwana jako odpad lecz być surowcem do produkcji nawozu organicznego (kompostu), niezbędnego do zachowania żyzności gleby i dobrej kondycji ekosystemów miejskich.

Część biomasy drzewnej może być też spożytkowana na cele opałowe oraz do wyrobu różnych produktów.

Do uczynienia z biomasy zieleni miejskiej surowca trzeba:

- rozpoznać obecną i potencjalną produktywność głównych typów (rodzajów) miejskiej szaty roślinnej z uwzględnieniem jakości (żyzności) gleby, wieku i kondycji drzew (krzewów), poziomu pielęgnacji (nawożenie, nawodnienie, usuwanie zbędnych części roślin),
- zinwentaryzować struktury przestrzenne zieleni miejskiej (w tym przemysłowej) z uwzględnieniem jakości gleby, gatunków i wieku drzew (krzewów), stanu pielęgnacji,
- oszacować obecne i potencjalne wytwarzanie głównych rodzajów biomasy usuwanej w toku pielęgnacji zieleni określonych miast (dzielnic), osiedli, terenów przemysłowych,
- oszacować wielkości poszczególnych rodzajów biomasy usuwanej obecnie z terenów zieleni określonych miast (dzielnic), osiedli, obiektów przemysłowych,
- opracować koncepcję odbierania biomasy z pielęgnacji zieleni określonych terenów oraz kompostowania jej i użytkowania kompostu,
- określić środki techniczne, organizacyjne, finansowe niezbędne do kompostowej (przyrodniczej) utylizacji zasobów fitomasy w określonych miastach (dzielnicach), osiedlach, terenach przemysłowych.

Ekologiczne, techniczne i ekonomiczne warunki przemawiają na rzecz przyrodniczej utylizacji masy roślinnej z pielęgnacji zieleni miejskiej i przemysłowej. Bogate kraje są w tym względzie daleko zaawansowane. Należy dołożyć starań, aby miasta polskie nadały za postępem ekologicznym w świecie.

WSTĘPNY SZACUNEK PRODUKTYWNOŚCI ZIELENI MIEJSKIEJ

W strukturze zieleni miejskiej dominują powierzchnie trawiaste (trawnikowe z udziałem drzew i krzewów). Drugie miejsce (pod względem zajmowanych powierzchni) należy do drzewostanów parkowych i lasów komunalnych. W strukturze miejskiej znajdują się też znaczne obszary uprawy roślin warzywnych, owocowych, ozdobnych, zbożowych, pastewnych. Różnorodność ekologicznych i gospodarczych funkcji w strukturach miejskich jest bardzo duża. Roślinność zieleni miejskiej ma wyłącznie funkcje ekologiczne (w tym krajobrazowe i estetyczne). Efektywność tych funkcji zależy od jakości (żyzności) siedliska i pielęgnacji, a ściślej rzecz biorąc od zdrowotności i intensywności wzrostu. Zwiększenie ekologicznej efektywności zieleni miejskiej pociąga za sobą wzrost masy roślinnej usuwanej w toku pielęgnacji.

Uprawy warzywnicze, sadownicze i zbożowe także dostarczają bardzo dużo masy roślinnej wymagającej zagospodarowania lub składowania w charakterze odpadów.

W strukturze zieleni miejskiej wyróżnia się:

- parki i lasy komunalne,
- zieleń osiedlową i obiektów użyteczności publicznej
- zieleń przyuliczną i komunikacyjną,
- ogrody działkowe i działki przydomowe,
- zieleń obiektów przemysłowych,
- zieleń zaroślową dolin rzecznych, mokradeł, gruntów odłogujących (nie użytkowanych),
- zieleń cmentarną,
- plantacje sadownicze i warzywnicze,
- trwałe użytki zielone (łąki i pastwiska),
- uprawy polowe.

Brak dokładnej ewidencji biologicznie czynnych powierzchni w miastach polskich uwzględniających funkcje (sposoby użytkowania) ekologiczne i produkcyjne, nie pozwala na ścisły szacunek wytwarzanych i usuwanych mas roślinnych.

Szacunek taki opracowano jednak dla produktywności masy roślinnej terenów zieleni miejskiej w gminach Warszawy:

▪	Targówek	1611 t s.m./rok
▪	Rembertów	610 t s.m./rok
▪	Wawer	743 t s.m./rok
▪	Białołęka	878 t s.m./rok
▪	Centrum	10 931 t s.m./rok
▪	Bielany	963 t s.m./rok
▪	Bemowo	3 993 t s.m./rok
▪	Ursus	161 t s.m./rok
▪	Włochy	1 243 t s.m./rok
▪	Ursynów	854 t s.m./rok
▪	Wilanów	421 t s.m./rok
		<u>22 298 t s.m./rok</u>
Parki ogólnomiejskie		<u>1 266 t s.m./rok</u>
		23 564 t s.m./rok

W szacunku powyższym uwzględniono tylko powierzchnie zieleni administrowane przez zarządy odnośnych gmin i Zarząd Oczyszczania Miasta.

Zasoby masy roślinnej, nadającej się do kompostowania w obrębie całej Warszawy są znacznie większe.

Począwszy od roku 1994 część zasobów masy roślinnej, usuwanej z terenów zieleni miejskiej jest przerabiana na kompost w:

- Kompostowni „Marywilska” na Pradze ZK-1
- Kompostowni „Tobruk” na Bemowie ZK-2

W latach 1994–1998 kompostownie te przyjęły następujące ilości świeżej masy roślinnej:

- „Marywilska” 17 056 t
- „Tobruk” 32 022 t (tab. 1).

Jeżeli przeciętna zawartość suchej masy wynosiła 1/3 świeżej masy roślin, to do kompostowania przyjęto około 18 000 t suchej masy, czyli 3600 t rocznie. Stanowi to około 11 % oszacowanej produktywności terenów zieleni miejskiej w Warszawie.

Najwięcej masy roślinnej (14 256 t) przyjęto do kompostowania w 1997r. W przeliczeniu na suchą masę stanowiło to około 4 740 t, około 20 % oszacowanej produktywności terenów zieleni miejskiej w Warszawie.

TABELA 1

Ogólna ilość dostarczanej masy roślinnej do ZK – 1 i ZK – 2

Rok	ZK – 1	ZK – 2	Ogółem
	[t]		
1994	1631	3722	5353
1995	3273	5040	8313
1996	3412	6552	9964
1997	5232	9024	14256
1998	3508	7684	11192
Razem	17056	32022	49078

JAKOŚĆ I PRZYDATNOŚĆ DO KOMPOSTOWANIA GŁÓWNYCH RODZAJÓW MASY ROŚLINNEJ Z TERENÓW ZIELENI MIEJSKIEJ

Chemizm masy roślinnej oznaczano w 1994 r., 1998 r. i w 1999 r., przy czym pierwszy rok badań obejmował znacznie większą ilość prób (17 prób) w celu dokładnego rozpoznania chemizmu tej masy. Wśród badanej masy w 1994 r. znajdowały się głównie:

- ✓ zezarzała roślinność trawników,
- ✓ listowie drzew,
- ✓ rozdrobnione gałęzie drzew i krzewów (tzw. zrębki),
- ✓ częściowo rozłożona roślinność wodna.

W roku 1998 badano zrębki, świeże liście, świeżą trawę i roślinność wodną. W 1999 r. badano świeżą trawę, zrębki ze świeżych gałęzi z listowiem, listowie, roślinność wodną i nadwodną. W materiale roślinnym oznaczono zawartość składników nawozowych i metali ciężkich (Tabela 2).

Zawartość substancji organicznej w nie zmacerowanej masie organicznej wynosi przeważnie ponad 90 % (do 97,4 % w zrębkach drzewnych). Zawartość azotu w zielonej masie (trawy, liście, roślinność wodna) waha się od 1,0 ÷ 2,64 %.

W większości prób wynosi 1,2 do 1,7 %. Zawartość fosforu (w przeliczeniu na P_2O_5) wynosi od 0,1 do 1,1 %. Zawartość potasu (w przeliczeniu na K_2O) waha się od 0,34 do 1,7 %. Małe zawartości K_2O stwierdzono w zrębkach drzewnych.

Spośród metali ciężkich oznaczono zawartość miedzi, cynku, kadmu, ołowiu i chromu. Pierwsze dwa składniki są niezbędne do życia roślin. Pozostałe trzy uznawane są jako szkodliwe. Zawartość miedzi w 29 próbach wynosiła od $1,3 \pm 22,7$ mg/kg s.m.

Zawartość cynku wahała się od 22 do 2690 mg/kg s.m. Znacznie większe ilości cynku zawiera listowie o dużym stopniu rozłożenia i gałęzie częściowo przegniła. Ponad 70 mg Zn/kg stwierdzono w sześciu próbach roślin.

Zawartość kadmu wynosi przeważnie $0,1 \pm 0,3$ mg/kg s.m. Najmniejsze ilości kadmu 0,03 mg/kg s.m. stwierdzono w 1998 r. w świeżych liściach i świeżej roślinności wodnej. Największą ilość kadmu – 1,2 mg/kg s.m. stwierdzono tylko w jednej próbce liści w 1999 r. Ogólnie rzecz biorąc zawartość kadmu w masie roślinnej przeznaczanej do kompostowania jest mała.

Zawartość ołowiu wynosi 0,7 – 21,0 mg/kg s.m. Ponad 5 mg Pb/kg s.m. stwierdzono w 7 próbach na 29 zbadanych.

Zawartość chromu wynosiła od 2,1 do 12,0 mg/kg s.m., przeważnie ok. 6 mg/kg s.m.

W 1999 roku oznaczono zawartość substancji organicznej i składników mineralnych w dwóch wariantach (mieszanekach) surowca kompostowego:

- I. 60 % objętości liści drzewnych + 40 % objętości zrębków drzewnych,
- II. 50 % objętości trawy + 25 % objętości liści drzewnych 25 % objętości zrębków drzewnych.

Wyniki oznaczeń zamieszczono w tabeli 3. Są one bardzo korzystne pod każdym względem. Zawartości kadmu nie przekroczyły 0,8 mg/kg s.m., a cynku 150 mg/kg s.m. Bardzo duże różnice zawartości azotu w poszczególnych rodzajach badanej masy roślinnej są naturalne (tab. 2). Wynikają one z odrębnych właściwości drewna, listowia, zdrewniałych części roślinności zielnej, a także z różnej zasobności gleby i nawożenia. Różnice te nie ograniczają możliwości komponowania poszczególnych rodzajów masy roślinnej i produkowania wysokiej jakości kompostu, ponieważ mieszanina poszczególnych części roślin tworzy bardzo korzystny skład surowca i produktu (kompostu).

Zawartości metali ciężkich są przeważnie małe. Tylko w niektórych próbkach roślin stwierdzono znaczne ilości metali ciężkich. W żadnym przypadku nie dyskwalifikowały one przydatności masy roślinnej do produkcji wysokiej jakości kompostu.

TABELA 1

Zawartość składników w masie roślinnej dostarczonej kompostowni Tobruk (ZK-2) i Marywilska (ZK-1)

Lp.	Kom. postoj. wnia	Próbka	Substancja organiczna	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr
			% s.m.				mg/kg s.m.				
ROK 1994											
1	ZK-2	sucha trawa	88,1	1,8	0,6	1,6	11,8	50,8	0,3	3,6	6,5
2		próbka trawisto-zielna z zaniedbanych trawników	91,0	1,4	0,4	1,6	7,7	62,0	0,3	1,8	6,4
3		liście, rozdrobnione gałęzie, odpady z parku, resztki traw	73,4	1,5	0,3	0,5	22,7	184,0	0,8	3,4	6,6
4		roślinność zielna z trawami i lucerną	92,9	1,8	0,5	1,5	8,9	50,2	0,1	1,2	6,1
5		trawa zestarzała, łodygi częściowo zgrubiałe	93,6	1,6	0,4	1,0	5,4	42,1	0,2	9,6	6,1
6		roślinność zielna z trawami (świeża)	91,0								
7		roślinność wodna (grązel) nierozłożona (zachowana struktura), z wierzchu skład.	78,8	1,0	0,3	1,5	7,0	61,3	0,2	2,0	6,0
8	ZK-1	zrębki gałęzi z liśćmi	96,1	1,3	0,3	0,7	6,8	38,8	0,2	0,8	5,1
9		zrębki gałęzi (grubszych konarów)	97,4	1,4	0,2	0,5	5,1	57,5	0,1	0,7	5,5
10		częściowo rozłożone	88,5	1,1	0,3	1,2	9,1	75,3	0,2	1,8	5,7
11		listowie świeże	94,0	1,8	0,4	1,3	11,7	73,0	0,2	2,4	4,8
12		zrębki gałęzi (najstarsze)	96,7	1,7	0,3	0,7	5,4	45,8	0,3	2,7	5,6
13		trawa z pielęgnacji trawników świeża	89,4	1,4	1,1	1,7	9,8	60,4	0,2	1,9	6,0
14		roślinność wodna (grązel) z wierzchu skład.	84,2	1,0	0,9	1,6	5,3	51,9	0,2	1,9	6,1
15		roślinność szuwarowa częściowo rozłożona	88,8	1,1	0,7	1,3	5,1	49,7	0,2	1,8	6,4
16		trawa z udziałem roślinności zielnej po wykoszeniu się	91,1	1,5	1,0	1,4	7,4	46,7	0,3	3,2	6,0
17		trawa zestarzała, dużo części zdrewniałych	92,6	1,4	0,3	1,3	14,6	48,0	0,2	3,7	6,5
ROK 1998											
18	ZK-2	zrębki	86,2	0,1	0,26	0,3	-	-	-	-	-
19		świeża trawa	85,2	1,6	0,94	1,8	-	-	-	-	-
20	ZK-1	świeże liście	85,2	2,4	0,32	0,8	8,3	50,0	0,03	11,0	2,1
21		świeża roślinność wodna	90,7	0,6	0,46	1,2	1,3	22,0	0,03	2,0	7,5
22		zrębki	95,3	0,6	0,12	0,5	5,6	33,0	0,17	5,6	2,2
ROK 1999											
23	ZK-2	świeża trawa	86,1	2,9	1,0	1,4	15,0	57,0	0,2	17,0	2,0
24		zrębki ze świeżych gałęzi z listowiem	96,2	0,7	0,3	0,6	6,0	94,0	0,4	4,0	1,0
25		roślinność wodna (rzęsa)	60,2	2,5	0,7	1,3	13,0	80,0	0,2	10,0	12,0
26		roślinność nadwodna (trzcina)	88,9	1,3	0,4	1,3	5,0	28,0	0,1	3,0	8,0
27	ZK-1	świeża trawa	88,9	2,4	0,9	1,5	16,0	60,0	0,1	7,0	3,0
28		zrębki ze świeżych gałęzi	95,3	0,8	0,4	0,5	8,0	40,0	0,1	5,0	3,0
29		liście wraz z gałęziami i trawą	68,9	1,7	0,4	0,6	18,0	260,0	1,2	21,0	6,0

TABELA 2

Zawartości substancji organicznej i składników mineralnych w surowcach kompostowych, różnych pod względem składu

Zawartości	60 % objętości liście 40 % objętości zrębki	50 % objętości trawa 25 % objętości liście 25 % objętości zrębki
substancji organicznej %	57,6	65,4
C org. %	25,6	30,6
N org. %	1,2	1,3
P ₂ O ₅ %	0,6	0,5
K ₂ O	0,4	0,6
pH	7,3	7,2
H ₂ O %	47,0	53,0
Cd	0,4	0,8
Cr	10,0	7,0
Cu	29,0	24,0
Ni	9,0	5,0
Pb	41,0	27,0
Zn	150,0	150,0

JAKOŚĆ KOMPOSTU Z ODPADÓW ZIELENI MIEJSKIEJ

Zawartość składników nawozowych i metali ciężkich w kompostach z masy roślinnej zieleni miejskiej Warszawy analizowano w latach 1995 – 1999 (tabela 4). Kompost zawiera w suchej masie:

- ✓ 0,9 ÷ 1,8 azotu, przeważnie 1,3 %,
- ✓ 0,12 ÷ 0,94 % P₂O₅, przeważnie powyżej 0,5 %,
- ✓ do 0,10 ÷ 1,04 % K₂O, średnio ok. 0,5 %,
- ✓ 0,43 ÷ 7,7 % CaO,
- ✓ 0,36 ÷ 1,41 % MgO.

Zawartość metali ciężkich wynosiła:

- ✓ Cynku 91,6 ÷ 390 mg/kg s.m. Największe ilości cynku stwierdzono w kompoście 1998 r. produkowanym w ZK – 2 „Tobruk”. Maksymalne zawartości cynku (ok. 510 ÷ 600 mg Zn/kg s.m.) stwierdzono w kompoście, wyprodukowanym z liści drzew. Poniżej 400 mg Zn/kg s.m. stwierdzono w 11 próbach. W 5 próbach stwierdzono poniżej 100 mg Zn/kg s.m.
- ✓ Ołowiu 20,6 – 99,0 mg/kg s.m., przeważnie około 50 mg/kg s.m.
- ✓ Miedzi 13,4 do 80,0 mg/kg s.m.
- ✓ Kadmu 0,41 do 1,4 mg/kg s.m., przeważnie w granicy 1,0 ÷ 1,2 mg Cd/kg s.m.
- ✓ Niklu 7,0 do 28,0 mg/kg s.m.
- ✓ Chromu 2,1 do 42,0 mg/kg s.m.

Zawartości wszystkich wymienionych metali ciężkich w kompoście z lat 1995 – 1998 były mniejsze, w niektórych zakresach dużo mniejsze, od restrykcyjnej normy

niemieckiej, ustanowionej dla kompostu zawierającego 30 % substancji organicznej i tak wg tej normy dopuszcza się następujące zawartości metali ciężkich:

- ✓ Cu 100 mg/kg s.m.
- ✓ Zn 400 mg/kg s.m.
- ✓ Cd 1,5 mg/kg s.m.
- ✓ Pb 150 mg/kg s.m.

Kompost z masy roślinnej zawiera od 30 ÷ 58,4 % substancji organicznej. Poniżej 35 % substancji organicznej stwierdzono w 10 próbach, a powyżej 40 % również w 10 próbach.

Wszystkie chemiczne wskaźniki wyprodukowanego kompostu są bardzo dobre w nawozowym aspekcie. Bardzo istotną sprawą dla wartości użytkowej kompostu z masy roślinnej jest brak lub mała obecność szkła. Tylko w bardzo nielicznych próbach (z kompostu nie przesianego) stwierdzono 0,4 – 2,4 % szkła. Znacznie mniej szkła stwierdzono w kompoście „Marywilska”.

W 1998 r. w kompostowni Tobruk przebadano mineralizację masy organicznej w jednej pryzmie założonej w dniach 9 – 15. 07. 1998 r. Skład doświadczalnej pryzmy był następujący:

- ◆ 70 % objętości świeżo skoszona trawa,
- ◆ 30 % objętości zrębki drzewne.

Wymiary pryzmy wynosiły: szerokość podstawy 4,2 m, wysokość 2,5 m, długość 30 m. Jej objętość wynosiła 315 m³. Pryzma była siedmiokrotnie przerzucana w odstępach około miesięcznych. Przed każdym przerzuceniem określono w kompostowanej masie zawartość substancji organicznej, azot, fosfor, potas, pH oraz zawartość wody. Masę kompostową przesiano w dniach 8 – 10. 02. 1999 r. W mieszaninie materiału wyjściowego i kompoście oprócz makroskładników oznaczono zawartość metali ciężkich (tab. 4). Zawartość substancji organicznej w wyjściowej masie wynosiła 78 %, a w kompoście 60,8 %. Ubyło więc 172 % masy. Stosunek C:N w świeżej masie wynosił blisko 17, w kompoście 12.

Zawartość metali ciężkich w kompoście była wyraźnie wyższa niż w świeżej masie, co jest oczywiste. Zawartości poszczególnych metali były nadal bardzo małe.

Temperatury masy kompostowanej przekraczały 70°C i utrzymywały się przez bardzo długi czas. Ubytek objętości pryzmy po zakończeniu kompostowania (28 tygodni) był duży. Objętość pryzmy zmalała do 82 m³, w przybliżeniu do 1/3 objętości wyjściowej.

Efektywność kompostowania była duża, mimo dużej zawartości wody w kompoście (64 % H₂O). Po przesianiu kompostu na sicie o oczkach 15×15 mm (przesuwarka bębnowa) uzyskano:

- ◆ kompostu – 76,5 %,
- ◆ odsiewu powyżej średnicy 15×15 mm – 23 %,
- ◆ zanieczyszczeń w postaci folii, szkła, gruzu – 0,5 %.

WNIOSKI

1. Kompost jest koncentratem próchnicy glebowej, wyprodukowanym bez udziału gleby, ale z zastosowaniem biotechnologii naśladującej procesy rozkładu i humifikacji masy roślinnej w środowisku glebowym.
2. Kompost jest nawozem organicznym. Glebotwórcza i agrotechniczna wartość kompostu przewyższa pozostałe nawozy organiczne. Uzasadnia to celowość kompostowania mas biologicznych przeznaczonych do nawożenia.
3. Do produkcji kompostu nadają się wszystkie rodzaje masy roślinnej (po odpowiednim przygotowaniu), większość osadów z biologicznego oczyszczania ścieków, torf, miał węgla brunatnego, różne przemysłowe odpady organiczne pochodzenia biologicznego. Ze względu na bardzo duże wahania zawartości azotu i pozostałych składników mineralnych w poszczególnych roślinach oraz innych surowcach, korzystne jest wspólne kompostowanie mas biologicznych o odmiennym chemizmie.
4. Stosunek ilościowy węgla organicznego do azotu (C : N) w biomacie ma zasadnicze znaczenie dla prawidłowego przebiegu procesu kompostowania oraz wartości użytkowej kompostu. Należy dążyć aby wskaźnik C : N w kompostowanej masie wynosił $25 \div 40$.
5. Wartości użytkowej kompostu decydują głównie jakość surowca, technologia produkcji i stan dojrzałości. Zawartość substancji organicznej i stosunek ilościowy C : N to najważniejsze wskaźniki glebotwórczej i nawozowej wartości kompostu. Czynnikiem ograniczającym wartość użytkową kompostu są nadmierne zawartości metali ciężkich, chorobotwórczych organizmów i obecność nasion roślin – zachwaszczających glebę i uprawiane rośliny.
6. Niezbędne jest dokładne określenie ilości i jakości mas roślinnych usuwanych w cyklach rocznych z typowych struktur zieleni miejskiej. bez znajomości ilości i jakości istniejących zasobów masy roślinnej nie można zaprojektować, wyposażyć i eksploatować kompostowni spełniających wymogi ekologiczne i ekonomiczne.

TABELA 3

Zawartość składników w komposcie z masy roślinnej Warszawy z lat 1995 ÷ 1998

Miesiąc i rok	% w powietrznie suchej masie						mg/kg s.m.						Kompostowania	Średnica cząstek kompostu [mm]
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Substancja organiczna	Zn	Pb	Cu	Cd	Ni	Cr		
III '95	1,18	0,5	0,93	n.o.	n.o.	47,5	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	ZK - 2	pryzma nie przesiana
IV '95	1,23	0,58	1,0	3,02	0,81	45,6	91,6	22,0	8,4	0,42	26,8	3,3		
IV '95	1,43	0,64	1,04	3,09	0,52	54,0	82,5	21,1	13,4	0,41	7,0	2,1		
XI '95	1,44	0,62	0,45	n.o.	n.o.	34,9	161	54,0	40,0	1,0	28,0	42,0		
VIII '96	1,35	0,68	0,3	n.o.	n.o.	46,0	220	63,0	54,0	1,2	24,0	33,0		
IV '97	0,92	0,5	0,3	n.o.	n.o.	30,0	280	77,0	80,0	1,0	18,0	17,0		
II '98	1,22	0,59	0,2	n.o.	n.o.	33,1	390	67,0	64,0	1,3	14,0	13,0		
VI '98	1,0	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	48,4	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.		
VII '98	1,48	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	38,2	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.		
VIII '98	0,90	0,54	0,3	n.o.	n.o.	45,2	10	66,0	53,0	1,0	19,0	13,0		
XII '98	1,3	0,49	0,9	n.o.	n.o.	58,4	240	47,0	38,0	0,8	12,0	10,0	I - KZ	kompost nie przesiany
III '95	0,82	0,25	0,8	n.o.	n.o.	44,0	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.		
IV '95	1,11	0,48	0,8	7,7	0,43	33,8	112,5	25,6	17,5	0,44	7,3	3,3		
IV '95	1,25	0,42	0,7	6,5	0,36	31,8	99,7	21,6	17,3	0,41	24,2	3,5		
IV '95	1,41	0,35	0,8	0,43	1,41	54,4	91,9	20,6	19,3	0,47	13,7	11,8		
IX '95	0,93	0,46	0,3	n.o.	n.o.	33,0	n.o.	80	46,0	1,0	22,0	22,0		
I '96	0,98	0,46	0,3	n.o.	n.o.	31,7	212,0	59,0	31,0	1,0	11,0	21,0		
VII '96	0,96	0,5	0,3	n.o.	n.o.	52,7	280,0	590	46,0	1,2	10,0	21,0		
II '97	1,29	0,42	0,3	n.o.	n.o.	34,1	280,0	65,0	60,0	1,1	10,0	12,0		
I '98	1,8	0,5	0,2	n.o.	n.o.	45,2	149,0	47,0	34,5	1,3	10,2	14,0		
II '98	1,3	0,83	0,1	n.o.	n.o.	31,0	290,0	56,0	60,0	1,0	26,0	20,0		
V '98	1,36	0,66	0,2	n.o.	n.o.	34,6	265,0	99,0	55,0	1,4	n.o.	15,0		

n.o. – wskaźnik nie oznaczany

Lidia SIEJA

Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych Katowice

MIEJSCE KOMPOSTOWANIA W GOSPODARCE ODPADAMI

1. WPROWADZENIE

Metoda kompostowania znana jest i stosowana od dziesiątków lat. Obecnie zadajemy sobie pytanie czy w nowoczesnych systemach gospodarki odpadami metoda ta powinna znaleźć swoje miejsce, jakie są kryteria jej zastosowania, a także jakie są uwarunkowania związane z wprowadzeniem tej metody w danych warunkach lokalnych.

Aktualne tendencje w gospodarce odpadami wyrażające się między innymi odpowiednimi zapisami w prawie zarówno krajowym jak i Unii Europejskiej wskazują na potrzebę przerobu odpadów w maksymalnie możliwym stopniu, odzysku surowców i gospodarczego wykorzystania odzyskanych produktów z surowców wtórnych.

Biochemiczne metody, w tym metoda kompostowania, są traktowane jako niektóre z możliwości przerobu odpadów celem wykorzystania produktów tego przerobu.

2. KRYTERIA ZASTOSOWANIA METODY KOMPOSTOWANIA

Celowość zastosowania metody kompostowania rozważyć należy przede wszystkim z punktu widzenia:

- prawnego,
- ochrony środowiska,
- ekonomicznego.

Zgodnie z Ustawą o utrzymaniu czystości i porządku w gminach^[1] na gminie spoczywa obowiązek realizacji zadań związanych z racjonalnym gospodarowaniem odpadami komunalnymi. Według Ustawy o odpadach zadanie to realizuje gmina według przyjętego przez radę gminy programu ochrony środowiska.

Równocześnie art. 4 i 5 Ustawy o odpadach wskazują na obowiązek zapobiegania powstawaniu odpadów, ich wykorzystaniu i unieszkodliwianiu tej części odpadów, których nie dało się nie dało się wykorzystać^[2]. W nowej Ustawie o odpadach

(projekt)^[3] obowiązek wykorzystania i recyklingu odpadów został wyraźnie zaakcentowany w rozdziale dotyczącym zasad gospodarowania odpadami.

Plany gospodarki odpadami, do tworzenia których, obligowane są wszystkie szczeble administracji publicznej zawierać powinny:

- działania, których celem będzie zmniejszenie ilości odpadów komunalnych ulegających biodegradacji kierowanych na składowisko,
- poziomy odzysku odpadów ulegających biodegradacji oraz działania niezbędne do ich osiągnięcia.

W projekcie nowej Ustawy o odpadach nie zawarto wymaganych poziomów odzysku odpadów biodegradowalnych (wzorem Dyrektywy UE 1999/31/EC)^[4]. Zakładając, że z wieloletnich programów gospodarki odpadami gminnych, powiatowych, wojewódzkich i krajowych - wynikać będą spodziewane poziomy redukcji odpadów biodegradowalnych przewidzianych do składowania.

Tak więc z punktu widzenia ustawodawstwa metoda kompostowania, jako jedna z możliwości unieszkodliwiania odpadów znajduje swoje uzasadnienie.

Redukcja ilości odpadów biodegradowalnych kierowanych do składowania to wymierny efekt ekologiczny. Wiadomo bowiem, że ta część odpadów wprowadzona do środowiska (składowana) powoduje największą uciążliwość i negatywnie oddziałuje na wszystkie jego elementy.

Ponadto efekt w postaci „oszczędności” pojemności chłonnej składowiska wskutek skierowania części strumienia odpadów do przerobu metodą biologiczną ma również duże znaczenie w kompleksowej gospodarce odpadami

Zastosowanie metody kompostowania umożliwia powrót materii organicznej do środowiska. „Kompostowanie nie spożytkowanych zasobów masy roślinnej oraz glebotwórcze i nowoczesne użytkowanie kompostu stanowi najlepszy sposób przeciwdziałania postępującej degradacji i służy ekologicznej odnowie środowiska”^[5].

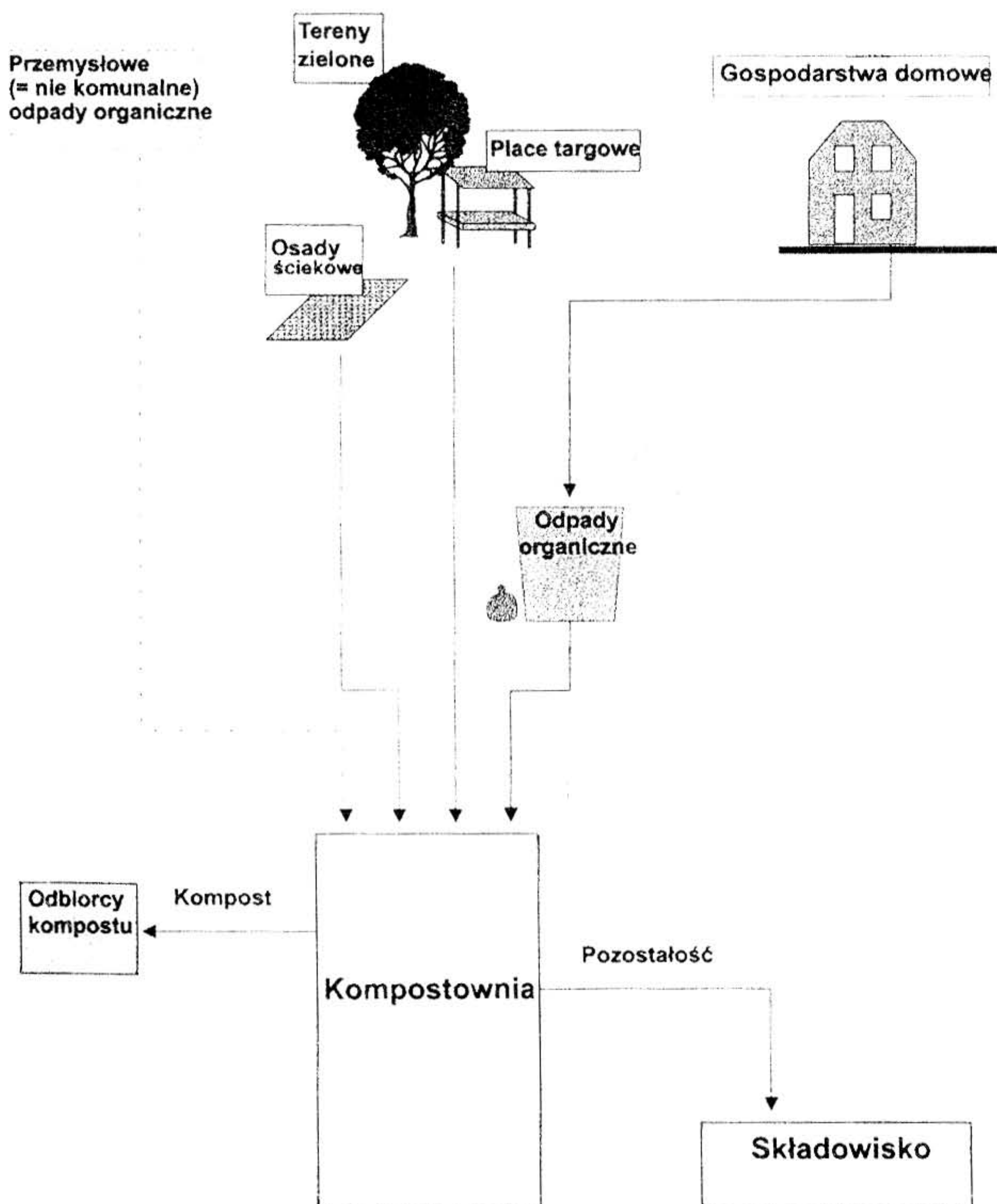
3. ANALIZA UWARUNKOWAŃ LOKALNYCH POPRZEDZAJĄCA WPROWADZENIE METODY KOMPOSTOWANIA

Już od szeregu lat ugruntował się pogląd, że prowadzenie kompostowania całej masy odpadów mija się z celem, głównie z uwagi na złą jakość kompostu otrzymywanego tą drogą i co się z tym wiąże ograniczenie możliwości jego zastosowania. Obecnie rozwój metod kompostowania wiąże się z rozwojem technologii kompostowania tzw. bioodpadów, które stanowią:

- wydzielona z odpadów komunalnych frakcję organiczną (odpady kuchenne), osady ściekowe, odpady z przemysłu spożywczego etc. lub

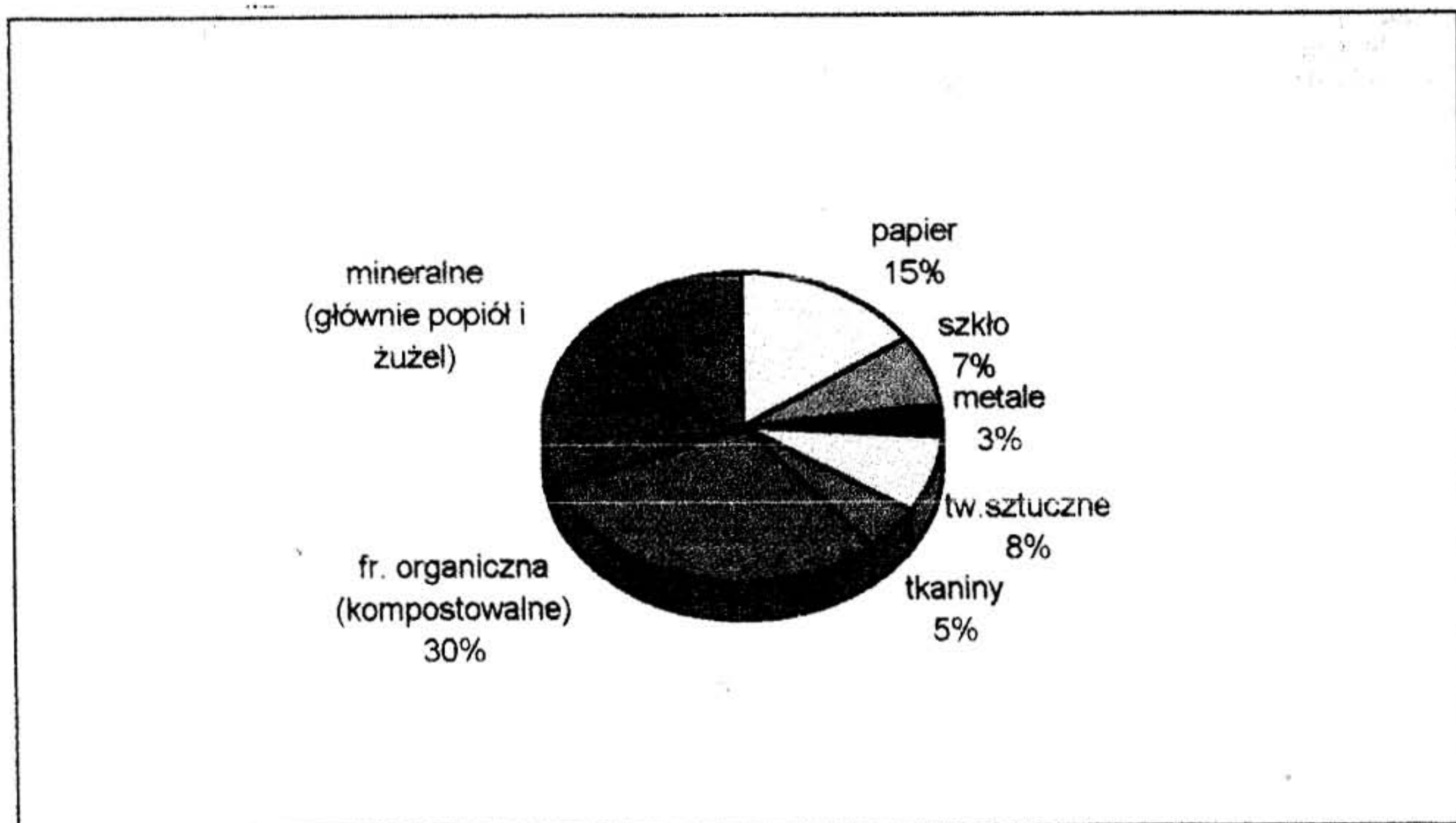
- tzw. odpady zielone - resztki roślinne z porządkowania parków, ogrodów, terenów zielonych^[6,7].

Mając powyższe na uwadze - pierwszym czynnikiem wymagającym przeanalizowania przed podjęciem decyzji o budowie kompostowni jest znajomość zasobów masy organicznej zawartej w odpadach. Bilansując te zasoby należy wziąć pod uwagę różne źródła ich wytwarzania (rys 1.)



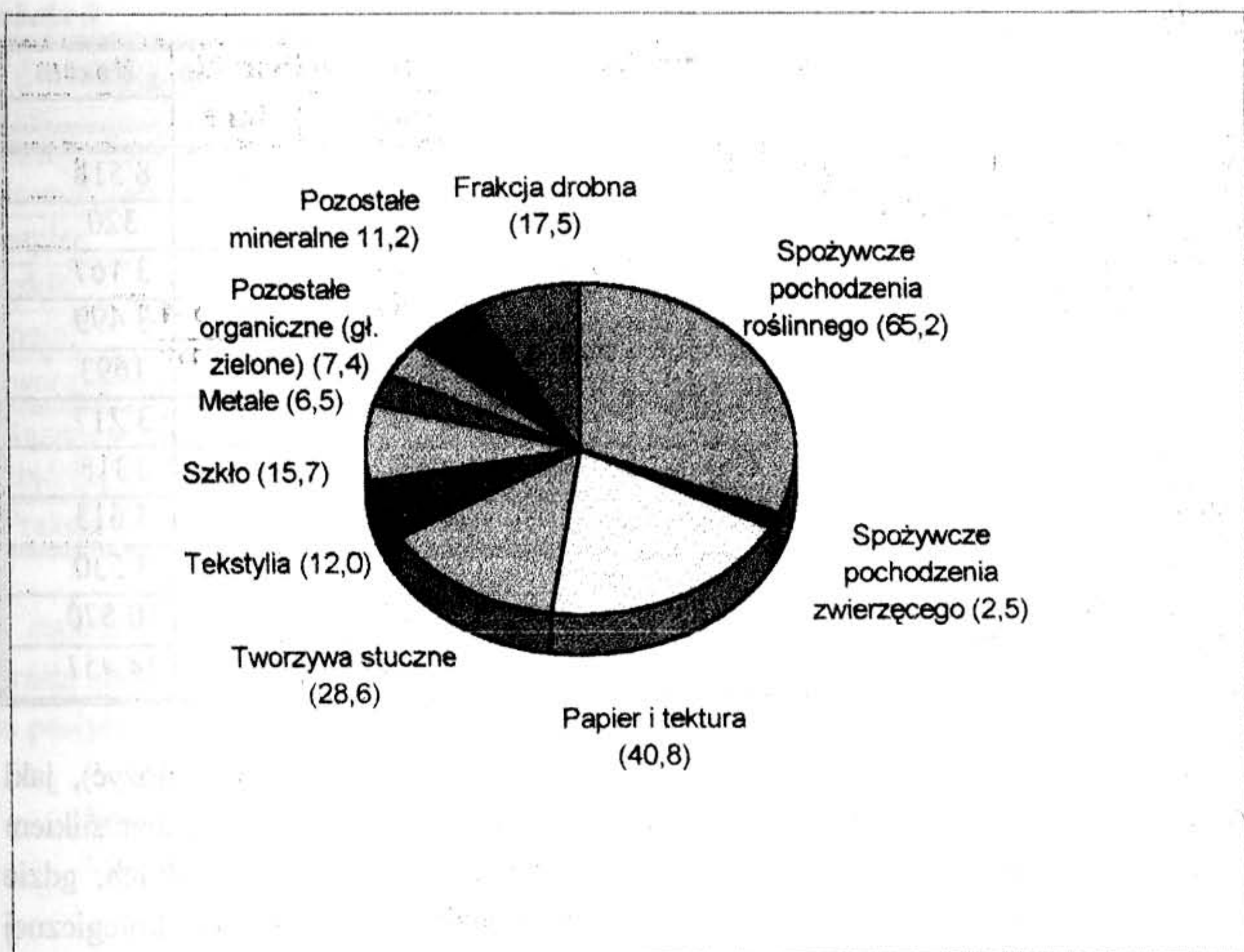
Rys. 1 Strumienie odpadów organicznych kierowanych do kompostowni

Według dotychczasowych badań prowadzonych dla potrzeb tworzenia programów gospodarki odpadami między innymi w województwie katowickim, w aglomeracji krakowskiej czy łódzkiej^[8,9,10] ilości odpadów organicznych stanowiących potencjalne zasoby do zasilania kompostowni są dość zróżnicowane, uzależnione od warunków lokalnych. Średni skład odpadów komunalnych w województwie katowickim przedstawia rys. 2. Ilość odpadów organicznych, kompostowalnych stanowi średnio 30%.



Rys. 2 Średni skład odpadów komunalnych w woj. katowickim (w ujęciu masowym)

Na rysunku 3 pokazano średni skład odpadów w aglomeracji krakowskiej wytwarzanych przez statystycznego mieszkańca. Na ogólną ilość odpadów komunalnych wytwarzanych przez mieszkańca Krakowa w ciągu roku wynoszącą 207kg - ilość odpadów organicznych wynosi 75 kg.



Rys. 3 Średni skład morfologiczny odpadów komunalnych w m. Kraków
[kg/Mieszkańca/rok]

Kolejnym czynnikiem wymagającym szczegółowej analizy przed opracowaniem koncepcji zakładu kompostowania odpadów jest ilość frakcji organicznej możliwej do pozyskania w wyniku selektywnego gromadzenia przez mieszkańców, bądź przez innych użytkowników systemu.

Przykładem takiej analizy może być opracowana koncepcja zakładu przerobu odpadów dla Raciborza i 11 gmin ościennych^[11,12,13]. Gminy te zawarły porozumienie o przystąpieniu do wspólnej kompleksowej gospodarki odpadami, której jednym z elementów jest budowa kompostowni i sortowni odpadów. Podstawą do wyznaczenia przepustowości tych obiektów były badania ilościowo-jakościowe odpadów komunalnych.

Na podstawie danych uzyskanych drogą badań wyznaczono emisję poszczególnych frakcji odpadów co przedstawia tabela 1. Ilości tu przedstawione wskazują zarazem jakie są potencjalne ilości odpadów do zagospodarowania gdyby możliwa była 100% selektywna zbiórka.

Tabela 1

źródło frakcja	Racibórz		Gminy raciborskie		Razem
	domowe	inne	domowe	inne	
spożywcze pochodz. roślinnego	3 826	251	4 306	135	8 518
spożywcze pochodz. zwierzęc.	130	13	170	7	320
papier i tektura	1 322	336	1 218	291	3 167
tworzywa sztuczne	1 412	209	1 708	170	3 499
tekstylia	717	74	855	47	1693
szkło	1 149	148	1 688	232	3 217
metale	520	57	681	60	1318
pozostałe organiczne	584	2 897	1 478	654	5 613
pozostałe mineralne	1 126	89	2 097	218	3 530
frakcja drobna poniż. 10mm	2 534	2 862	4 851	323	10 570
frakcja organiczna razem	4 540	3 161	5 954	796	14 451

Projektując system selektywnej zbiórki odpadów należy przewidzieć (założyć), jaki procent „emisji” danej frakcji będzie możliwy do pozyskania. Pewnym wyznacznikiem mogą tu być wskaźniki odzysku uzyskiwane obecnie w krajach zachodnich, gdzie system taki funkcjonuje już od wielu lat i gdzie poziom świadomości ekologicznej obywateli jest już odpowiednio ukształtowany.

Założone – docelowe z punktu widzenia programu dla zespołu gmin raciborskich – odzyski przedstawiają się następująco:

Tabela 2

Frakcja surowców odzyskiwanych	Racibórz	Gminy raciborskie
frakcja organiczna	42 %	6 %
papier	21 %	12 %
szkło	57 %	29 %
metale	69 %	67 %
tworzywa sztuczne	13 %	10 %

Niski przewidywany odzysk frakcji organicznej w wyniku selektywnej zbiórki w gminach raciborskich wynika z ich wiejskiego charakteru. W tego typu gminach na ogół frakcje organiczne zagospodarowywane są we własnym zakresie.

Przy takich wskaźnikach odzysku ilości odzyskanych surowców przedstawiać się będą jak w poniższej tabeli [t/rok]:

Tabela 3

Frakcja	Racibórz	Gminy "raciborskie"	Razem Racibórz i gminy
<i>Emisja łączna odpadów komunalnych</i>	20 254	21 189	41 443
papier	353	185	538
szkło	737	561	1 298
metale	401	496	897
tworzywa sztuczne	208	195	402
Razem selektywna zbiórka surowców	1 698	1 437	3 135
Frakcja organiczna	3 242	405	3 647

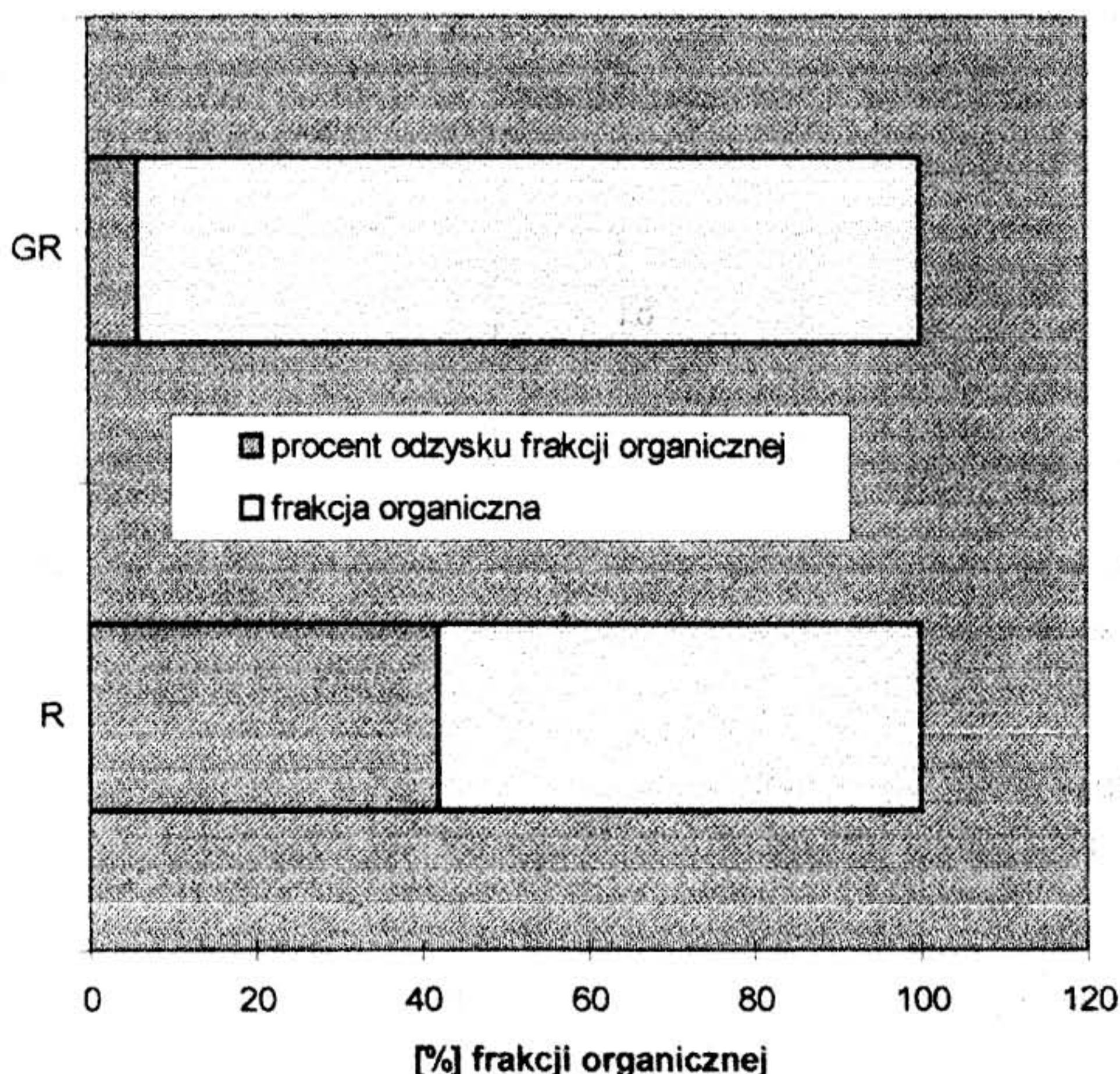
W ostatniej kolumnie powyższej tabeli wartość „Frakcja organiczna” – 3647 t/rok określa docelową przepustowość dla kompostowni.

Na powyższą sumę składają się następujące składniki „wsadu” do kompostowni.

<u>źródło frakcji organicznej</u>		<u>t/rok</u>
z odpadów „domowych” – razem	-	2 408.2
w tym:		
bloki mieszkalne	-	1 159.6
centrum, zabudowa stara	-	847.9
peryferia, domki jednorod.	-	400.7
parki, cmentarze, targowiska	-	375.3
inne	-	71.5
osady ściekowe	-	792.0
Razem		3 647.0

Rysunek 4 obrazuje zakładany procent odzysku frakcji organicznej z odpadów w wyniku oddzielnego jej gromadzenia.

Uzależniając osiągnięcie docelowej przepustowości kompostowni wynoszącej 3600 ton/rok od rozwoju systemu zbiórki biomasy - zaproponowano by w I etapie kompostownia pracowała z wydajnością ok. 1000 ton/rok (co wiąże się z koniecznością rozstawienia ok. 300 pojemników do biomasy) i zwiększała przerób w miarę włączania do systemu selektywnej zbiórki kolejnych rejonów miasta. Takie rozwiązanie umożliwia zaproponowana technologia KNEER, którą cechuje tzw. modułowy charakter.



Rys. 4 Zakładany procentowy odzysk frakcji organicznej, R - Racibórz ; GR- Gminy raciborskie

Pozyskanie zakładanych ilości wsadu do zakładu kompostowania uzależnione jest od poziomu selektywnej zbiórki biomasy prowadzonej między innymi przez mieszkańców. Rozwój tego systemu uzależniony jest w danych warunkach lokalnych od:

- odpowiedniego doboru zarówno miejsc usytuowania pojemników najbardziej dogodnego dla mieszkańców jak i adekwatną do potrzeb liczbę pojemników do selektywnego gromadzenia biomasy,
- dobrze zorganizowane akcje „propagandowe” promujące system selektywnej zbiórki biomasy,
- stworzenie motywacji ekonomicznej dla przyszłych użytkowników tego systemu.

Ważnym czynnikiem warunkującym zastosowanie metody kompostowania jest rynek zbytu kompostu. Niestety kompost z odpadów komunalnych nie cieszy się dotąd w Polsce odpowiednim „wzięciem”. Wynika to z kilku powodów, między innymi z faktu braku normy dla użytkowników kompostu oraz braku zaleceń dotyczących przydatności różnych jakościowo kompostów do przyrodniczego wykorzystania. Konieczna jest szeroka promocja kompostu z bioodpadów jako z materiału niezbędnego do przywracania żyzności gleby.

4. TECHNOLOGIA KOMPOSTOWANIA ODPADÓW KOMUNALNYCH W WIELOLETNICH PROGRAMACH

Dotychczas opracowane programy gospodarki odpadami zawierają najczęściej układ składający się z:

- kompostowani odpadów organicznych,
- sortowni odpadów wydzielonych w wyniku selektywnej zbiórki.

Niżej przedstawiono kilka przykładów kompleksowych programów uwzględniających metody kompostowania odpadów.

4.1. Aglomeracja katowicka

Opracowany w 1999 roku program gospodarki odpadami komunalnymi dla byłego województwa katowickiego^[8] dotyczył obszaru 96 gmin zamieszkiwanych przez 4 mln mieszkańców, którzy wytwarzają rocznie ok. 1,5 mln ton odpadów komunalnych.

Program zakładał rozwiązania ponadgminne, ponieważ w specyficznych warunkach tego regionu nieuzasadnione byłyby przedsięwzięcia o charakterze lokalnym. Uzgodniono więc, że zamierzenia gmin będą ukierunkowane na budowę wspólnych składowisk odpadów, kompostowni odpadów organicznych i sortowni.

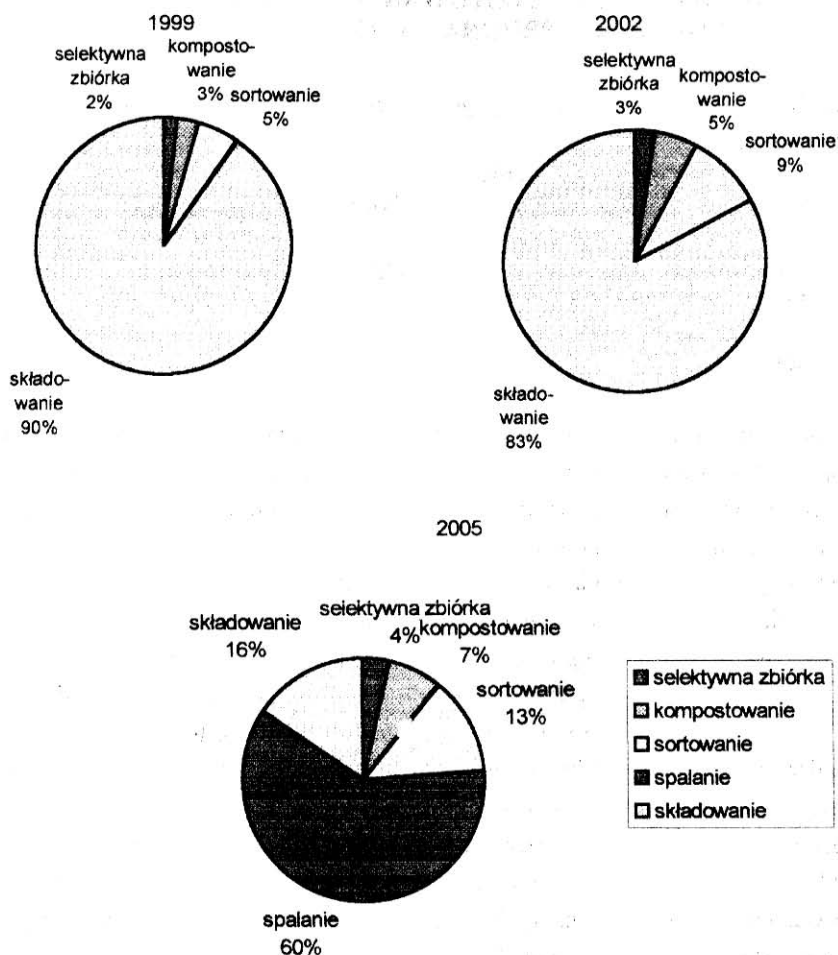
W każdym z zaproponowanych 19 zespołów gminnych przewidziano między innymi wybudowanie jednej kompostowni odpadów. W wyniku zastosowania kompostowania zamierzano uzyskać efekt docelowy wyrażający się ok. 15% obniżeniem ilości odpadów przewidzianych do składowania.

Realizacja tego planu nie przebiega niestety zgodnie z oczekiwaniami. Do tej pory funkcjonują w byłym województwie katowickim 3 kompostownie (Katowice, Zabrze i Świętochłowice), dla dalszych pięciu obiektów przygotowywane są odpowiednie dokumentacje (Racibórz, Tychy, Bytom, Knurów, Gliwice).

4.2. Aglomeracja krakowska

W Krakowie liczącym około 740 tys. mieszkańców powstaje rocznie około 200 tys. ton odpadów komunalnych. W opracowanym w 1997 programie dla Krakowa^[8,11] przewidziano wybudowanie dwóch kompostowni odpadów (dla północnej i południowej części miasta).

Rozwój poszczególnych metod przerobu i unieszkodliwiania odpadów wynikających z programu dla Krakowa na okres 1999-2005 przedstawia rys. 5



Rys. 5 Redukcja ilości składowanych odpadów dla kolejnych etapów wdrażania programu gospodarki odpadami dla Krakowa

4.3. Aglomeracja łódzka

W aglomeracji łódzkiej liczącej około 800 tys. mieszkańców wytwarzanych jest rocznie 350 tys. ton odpadów komunalnych i komunalno-podobnych (łącznie z osadami ściekowymi).

Wypracowany w styczniu 1999r. „Wieloletni program gospodarki odpadami dla miasta Łodzi”^[10] zawiera następujące elementy:

- budowa kompostowni odpadów,

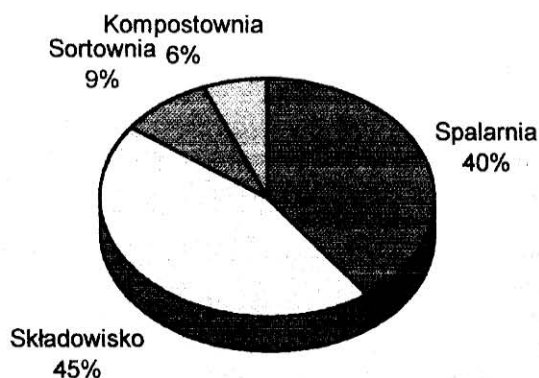
- budowa 2 sortowni odpadów,
- budowa składowiska odpadów,
- budowa spalarni odpadów.

Aktualnie w Łodzi nie funkcjonuje żadne składowisko odpadów komunalnych; odpady wywożone są na odległe składowiska zlokalizowane w innych województwach.

Realizacja programu (zatwierdzonego Uchwałą Rady Miejskiej), którego wstępne koszty określono na około 280 mln zł - pozwoliłaby na uporządkowanie w okresie wieloletnim problemu odpadów komunalnych, a planowane rozwiązania byłyby zgodne z funkcjonującymi „modelami” w krajach Unii Europejskiej.

Zgodnie z programem rozkład strumieni odpadów kierowanych do poszczególnych technologii przerobu i unieszkodliwiania byłby następujący: (rys. 6).

Metodą kompostowania przewiduje się przerabiać zaledwie 6% całości odpadów - niemniej technologia ta ma swoje miejsce w kompleksowym systemie zagospodarowania odpadów.



Rys. 6 Ilości odpadów kierowanych do planowanych obiektów gospodarki odpadami w Łodzi.

4.4. Koszty funkcjonowania zakładu kompostowania na przykładzie programu dla zespołu gmin raciborskich

Jak przedstawiono w rozdziale 3 - program dla zespołu gmin raciborskich zakłada budowę obiektu, w skład którego wchodzi:

- linia kompostowania bioodpadów,

- linia sortowania odpadów wstępnie wyselekcjonowanych w systemie selektywnej zbiórki odpadów.

W I fazie eksploatacji obiektu dla jego przewidywanej przepustowości:

- 1000 ton/rok - kompostownia,
- ok. 3000 ton/rok - sortownia.

Koszty przerobu 1 tony odpadów wynoszą ok. 120 zł/tonę (jest to koszt, który musiałby obowiązywać na bramie zakładu bez uwzględnienia zysków).

Zwiększenie przepustowości - uzależnione ściśle od rozwoju systemu selektywnej zbiórki - do:

- 3000 ton/rok - kompostownia,
- 11 000 ton/rok - sortownia,

może spowodować obniżenie kosztów eksploatacji do 35 zł/tonę odpadów. W kalkulacji tej przyjęto koszt sprzedaży dobrego jakościowo kompostu na poziomie 150 zł/tonę.

Jak wynika więc z powyższych rozważań - z punktu widzenia ekonomicznego - metoda kompostowania odpadów nie może być traktowana jako przedsięwzięcie ściśle komercyjne, zważywszy na fakt znacznych trudności z zapewnieniem odpowiedniego rynku zbytu kompostu.

5. PODSUMOWANIE

W wielu regionach, gminach i zespołach gminnych w Polsce w planach dotyczących gospodarki odpadami komunalnymi uwzględnia się metodę kompostowania jako jedną z możliwości unieszkodliwiania odpadów. Zastosowanie tej metody ma swoje uzasadnienie, zarówno z punktu widzenia wymogów prawa (konieczność obniżania poziomu składowania odpadów biodegradowalnych) jak i ochrony środowiska (powrót materii organicznej do środowiska).

Według aktualnych tendencji wskazane jest stosowanie technologii kompostowania opartej na wydzielonej z całej masy odpadów frakcji organicznej. Technologie te wymagają jednak dobrej organizacji systemu selektywnej zbiórki, dlatego plany gospodarki odpadami muszą zawierać programy rozwoju selektywnego gromadzenia bioodpadów.

Program taki musi uwzględniać realne uwarunkowania i być wdrażany równolegle z zakrojoną na szeroką skalę akcją informacyjną i edukacyjną wszystkich grup społecznych uczestniczących w programie.

Należy liczyć się z faktem, że działalność zakładu kompostowania może być deficytowa, zwłaszcza w pierwszych okresach funkcjonowania obiektu, dlatego istotnym jest by "studium wykonalności" wskazało taką formę organizacyjną przedsięwzięcia by możliwe było zapewnienie ciągłości pracy obiektu. Istotą działalności Zakładu Przerobu Odpadów jest przede wszystkim uzyskiwanie efektów ekologicznych a nie ściśle komercyjnych, dlatego głównym celem powinno być dążenie do uzyskania produktu bezpiecznego dla środowiska i zminimalizowania ilości odpadów lokowanych na składowisku.

6. LITERATURA

- [1] Ustawa z dnia 13 września 1996r o utrzymaniu czystości i porządku w gminach [Dz.U. Nr 132 poz. 622].
- [2] Ustawa o odpadach z dnia 27 czerwca 1997 [Dz.U. Nr 132 poz. 592].
- [3] Ustawa o odpadach - projekt. Ministerstwo Środowiska, czerwiec 2000.
- [4] Dyrektywa Rady 1999/31/EC z dnia 26 kwietnia 1999 w sprawie składowania odpadów.
- [5] Siuta J.; Kompostowanie i wartości użytkowe kompostu. *I Konferencja Naukowo-Techniczna, Puławy-Warszawa, 1999r.*
- [6] Przywarska R.; Biochemiczne metody przeróbki odpadów - jako element kompleksowej gospodarki odpadami, *VI Polski Kongres Oczyszczania Miast, Szczecin, 1999.*
- [7]. Kempa E.S.; Gospodarka odpadami w XXI wieku, *VI Polski Kongres Oczyszczania Miast, Szczecin, 1999.*
- [8] Wieloletni program gospodarki odpadami komunalnymi w województwie katowickim, IETU i GKW Consult, Katowice, 1999 (maszynopis).
- [9] Sieja L. + zespół; *Program gospodarki odpadami komunalnymi w gminie Kraków*, IETU, Katowice, 1997 (maszynopis).
- [10] Sieja L. + zespół; *Program gospodarki odpadami komunalnymi dla miasta Łodzi do roku 2010*, IETU, Katowice, 1999 (maszynopis).
- [11] Sieja L. + zespół; Wieloletni program gospodarki odpadami komunalnymi w ujęciu regionalnym i lokalnym. *VI Polski Kongres Oczyszczania Miast, Szczecin, 1999.*
- [12] Sieja L. + zespół; *Program gospodarki odpadami komunalnymi dla miasta Raciborza i rejonu raciborskiego*, IETU, Katowice, 1999 (maszynopis).
- [13] Sieja L.; Modelowe rozwiązanie gospodarki odpadami w zespole gmin raciborskich. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, Wydawnictwo ECO EDYCJA, Nr 1/2000.*

Andrzej JĘDRZAK
Politechnika Zielonogórska

FERMENTACJA METANOWA. MIEJSCE W SYSTEMACH GOSPODARKI ODPADAMI KOMUNALNYMI

Streszczenie

W artykule, po krótkim wprowadzeniu, określono miejsce technologii stosowanych do beztlenowego unieszkodliwiania odpadów komunalnych, z odzyskiem energii w postaci biogazu, w systemach gospodarki odpadami komunalnymi. Przedstawiono bilanse masowe procesu „mokrej” fermentacji zmieszanych odpadów komunalnych, przy zastosowaniu do wydzielenia biofrakcji z odpadów sita bębnowego o oczkach 70 i 150 mm. Podano koszty budowy i eksploatacji instalacji do fermentacji odpadów oraz określono ich oddziaływanie na środowisko.

WSTĘP

Dobór metod unieszkodliwiania odpadów przy kształtowaniu systemu gospodarki odpadami komunalnymi wynika:

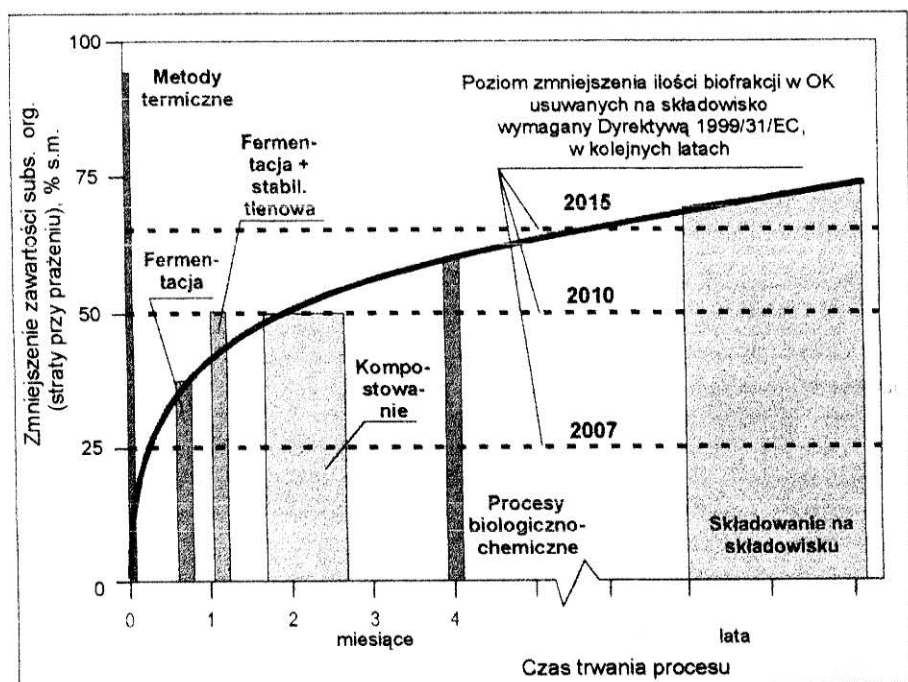
- z ustawy o odpadach, która bazując na stwierdzeniu, że również w przyszłości nie uniknie się składowisk jako miejsc ostatecznego unieszkodliwiania odpadów, nakłada na wytwórców (w pierwszej kolejności) obowiązek minimalizacji strumienia odpadów poprzez unikanie ich powstawania, wykorzystania niektórych rodzajów odpadów jako surowców wtórnych oraz wyłączenia ze składowania odpadów nadających się do biologicznej przeróbki [11],
- z naszych aspiracji do integracji z krajami Unii Europejskiej, które zobowiązane są do zmniejszania ilości bioodpadów usuwanych na składowiska zgodnie z dyrektywą 99/31/EC (rys. 1) [3],
- z wieloletnich doświadczeń krajów Europy Zachodniej, które znacznie wcześniej poszukiwały optymalnego sposobu zarządzania odpadami.

Obecnie występuje silna tendencja do unieszkodliwiania odpadów z wykorzystaniem technologii, które są ukierunkowane na ponowne ich użycie lub zwracanie do naturalnego obiegu. Beztlenowy rozkład odpadów organicznych dobrze pasuje do tej koncepcji, ponieważ prowadzi do przekształcenia odpadów organicznych w produkty, kompost oraz biogaz, które można wykorzystać gospodarczo.

Fermentacja jako proces unieszkodliwiania substancji organicznych początkowo była wykorzystywana do oczyszczania ścieków, później zaś do stabilizacji osadów ściekowych z oczyszczalni biologicznych, o całkowitej zawartości ciał stałych od 3 do 10 %. W 1936 roku Buswell wykazał, że fermentacja może być stosowana również do

rozkładu odpadów stałych (łodyg kukurydzy), w postaci zawiesiny o stężeniu większym niż 10 % s.m. [1]. W 1970 stwierdzono, że proces ten może przebiegać z dobrą wydajnością, nawet przy wyższych zawartościach ciał stałych do 40 %, np. na składowiskach.

Od około 20 lat budowane są przemysłowe instalacje do beztlenowego unieszkodliwiania odpadów komunalnych. Kilkadziesiąt takich obiektów powstało, przede wszystkim, w Niemczech, Szwajcarii, Danii, Holandii i we Włoszech. Łączna przepustowość instalacji do fermentacji metanowej odpadów stanowi obecnie ok. 5 % całkowitej przepustowości kompostowni w Europie, a w kilku krajach, jej udział jest wyższy niż 10%; są to: Szwajcaria – 26,6 %, Holandia 15,6 % i Belgia 11,9 % (tabela 1) [2].



Rys. 1 Stopień zmniejszenia ilości substancji organicznych w odpadach komunalnych w różnych metodach ich unieszkodliwiania

TABELA 1

Przepustowość zakładów fermentacji odpadów w kilku krajach europejskich

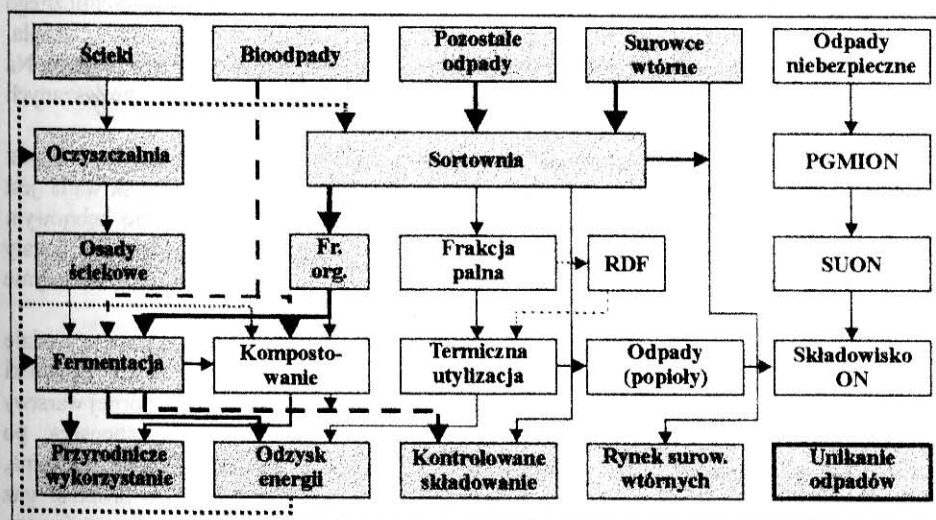
Kraj	Przepustowość Mg/rok	% przepustowości kompostowni
Niemcy	449605	6 %
Belgia	67000	15,6 %
Holandia	197000	11,9 %
Szwajcaria	8500	26,6 %

2. MIEJSCE FERMENTACJI W SYSTEMACH GOSPODARKI ODPADAMI

Ogólny model gospodarki odpadami obejmuje następujące podstawowe metody postępowania z odpadami:

- odzysk odpadów przydatnych do wykorzystania (tzw. surowców wtórnych) poprzez, wielopoziomowo rozbudowaną, selektywną zbiórkę w miejscu powstawania oraz ich oczyszczanie, rozdział na rodzaje i dystrybucję do odbiorców, realizowane w tzw. Sortowniach,
- selektywne pozyskiwanie organicznej frakcji z odpadów komunalnych, nadającej się do biologicznej przeróbki i przetwarzania na kompost,
- eliminowanie ze strumienia odpadów składników niebezpiecznych i poddawanie ich oddzielnej procedurze unieszkodliwiania bądź dalszego wykorzystania,
- termiczną utylizację pozostałości odpadów w ekologicznie bezpiecznych i efektywnych spalarniach, z odzyskiem energii,
- kontrolowane składowanie odpadów, nie dających się wykorzystać lub unieszkodliwić w inny sposób, na składowiskach bezpiecznych dla środowiska.

Schemat organizacji takiego modelu obrazuje rysunek 2.



RYS. 2 Schemat ogólnego modelu kompleksowego zagospodarowania odpadów

3. CHARAKTERYSTYKA PROCESU

Główną zaletą procesu beztlenowego rozkładu bioodpadów jest produkcja biogazu, wysokoenergetycznego paliwa, które może być wykorzystane do produkcji energii przyjaznej dla środowiska. Produkcja gazu wynosi do ok. 100 Nm³ na tonę surowych odpadów. Wykorzystanie gazu, po odwodnieniu, w zblokowanej elektrociepłowni

(wartość energetyczna gazu $6,2 \text{ kW/Nm}^3$) pozwala uzyskać 200 kWh energii elektrycznej i 300 kWh energii cieplnej. Około 30-50 % wyprodukowanej energii elektrycznej i ok. 20-40% energii cieplnej zostaje zużyta na potrzeby własne instalacji, zaś pozostała ilość może być eksportowana do odbiorców obcych.

Fermentacja może być prowadzona różnymi technikami. O rozwiązaniu technologicznym decydują cztery podstawowe parametry wynikające głównie z mechanizmu procesu powstawania metanu oraz z wymogów prowadzenia procesów biologicznych w skali technicznej [10]. Są nimi:

- wilgotność substratu; fermentacja „mokra” ($< 15 \%$ s.m. we wsadzie) i „sucha” (od 15 do 40 % s.m. we wsadzie),
- temperatura fermentacji; fermentacja mezofilowa (ok. 35°C) i termofilowa (ok. 55°C),
- przepływ substancji; ciągła lub okresowa,
- stopień fermentacji; technologie jedno- i wielostopniowa.

Przy praktycznej realizacji technologii fermentacji odpadów, każde przyjęte rozwiązanie wykazuje określone wady i zalety [6]. Proponowane na rynku technologie oparte są zawsze na kompromisie, które z zalet zostaną szczególnie wykorzystane, a jakie wady będą tolerowane.

Biofrakcja może być wydzielana z odpadów komunalnych w procesach mechanicznego i/lub ręcznego sortowania, lub poprzez selektywną zbiórkę bioodpadów u źródła. Technologia sortowania w dużym stopniu wpływa na ilość produkowanego biogazu. Na rys. 3 przedstawiono schemat technologiczny fermentacji „mokrej” zmieszanych odpadów komunalnych.

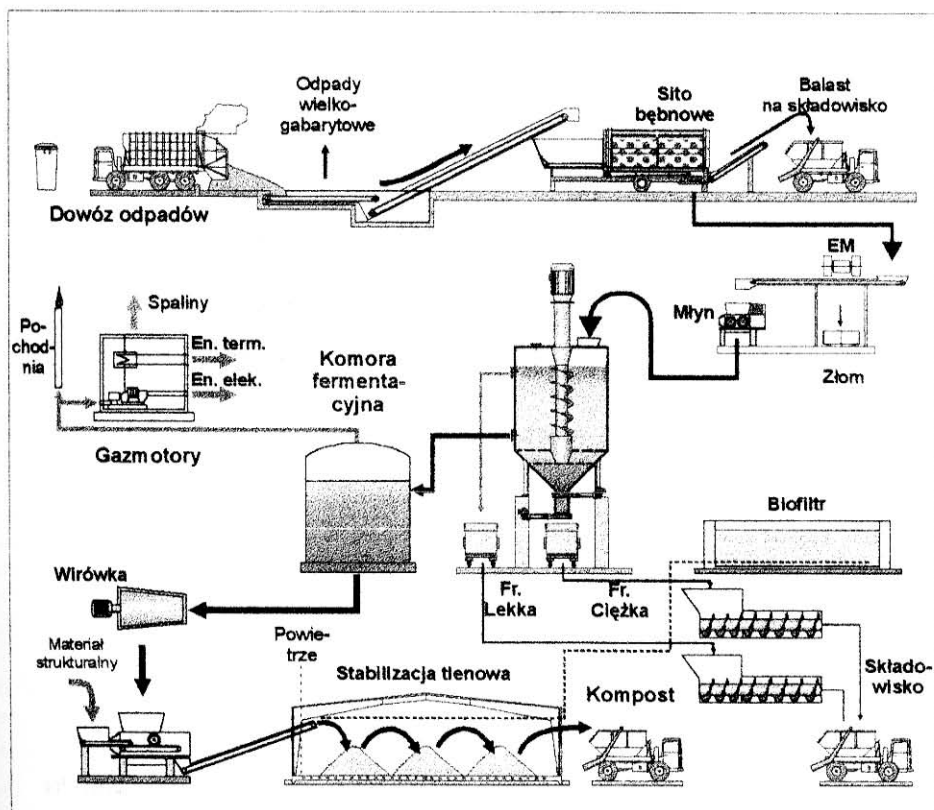
W procesie fermentacji „mokrej” (instalacja taka została wybudowana i jest eksploatowana w Zgorzelcu) biofrakcja z odpadów komunalnych odzyskiwana jest mechanicznie [7]. Odpady dowożone do Stacji przesiewane są na sicie bębnowym o prześwicie 70 mm. Odsiew kierowany jest na składowisko, a przesiew bogaty w składniki organiczne, po usunięciu metali, zostaje rozdrobniony w młynie młotkowym

i przetransportowany do suspensera. W suspensersze odpady są roztworzone w wodzie za pomocą szybkoobrotowego mieszadła oraz wydzielane są z nich składniki przeszkadzające. Frakcje lekka (tworzywa sztuczne, drewno) zbierana z górnej warstwy zawiesiny i ciężka (szkło, piasek), zbierana w śluzie, w dnie suspensera, po odwodnieniu usuwane są na składowisko. Pozbawiona zanieczyszczeń zawiesina, o stężeniu ok. 6 % s.m. podawana jest fermentacji. Powstający w procesie gaz przekształcany jest w gazmotorach w energię elektryczną i ciepłą. Przefermentowany osad, po odwodnieniu i krótkiej stabilizacji tlenowej, może być wykorzystywany przyrodniczo lub składowany na składowisku.

4. BILANSE MASOWE PROCESÓW

Na rys. 4 i 5 przedstawiono bilanse masowe procesu fermentacji „mokrej” zmieszanych odpadów komunalnych, przy zastosowaniu do wydzielenia biofrakcji odpadów sita

bębnowego o oczkach, kolejno 70 i 150 mm. Bilanse wyznaczono dla odpadów komunalnych, o składzie grupowym przedstawionym w tabeli 2 [8].



Rys. 3 Schemat technologiczny fermentacji „mokrej” zmieszanych odpadów komunalnych

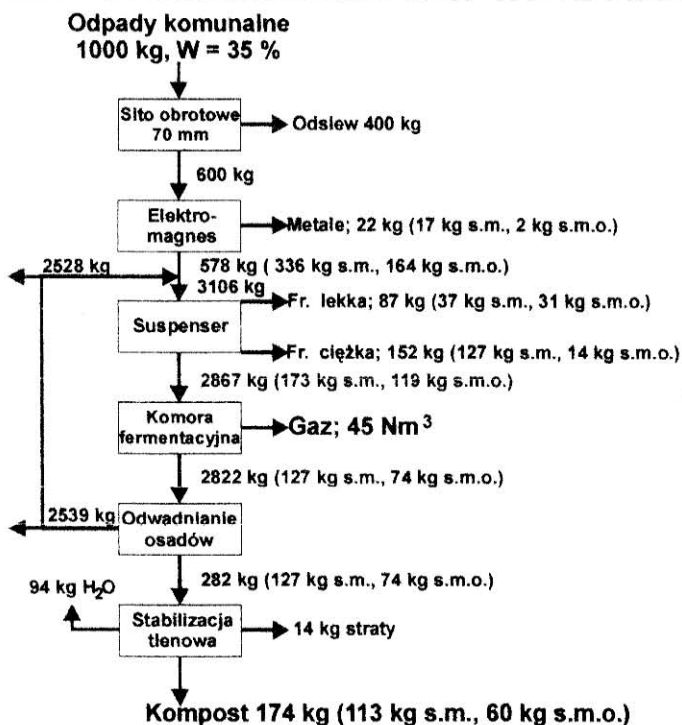
TABELA 2

Skład grupowy odpadów z gospodarstw domowych, % wag. [8]

Składniki	Udział masowy, %	Składniki	Udział masowy, %
Frakcja < 10 mm	13,4	Tw. sztuczne	10,1
Papier i kartony	20,8	Drewno	0,3
Odp. rośl. i zw.	32,9	Metale żelazne	4,1
Szkoło	10,2	Inne org.	1,6
Tekstylia	2,0	Inne nieorg.	4,6

Podstawowymi produktami powstającymi w procesie są biogaz i kompost. Stosując sito o prześwicie 70 mm, z jednej tony surowych odpadów powstaje około 45 Nm³ biogazu i ok. 0,17 tony kompostu (W = 35 %, zawartość substancji org. – 53 % s.m.). Stosując

sito o prześwicie 150 mm, przy tych samych odpadach, produkcja gazu z jednej tony odpadów rośnie do ok. 66 Nm³, zaś ilość kompostu do 0,26 tony.



Rys. 4 Bilans masowy procesu fermentacji zmieszanych odpadów komunalnych przy zastosowaniu sita o oczkach 70 mm

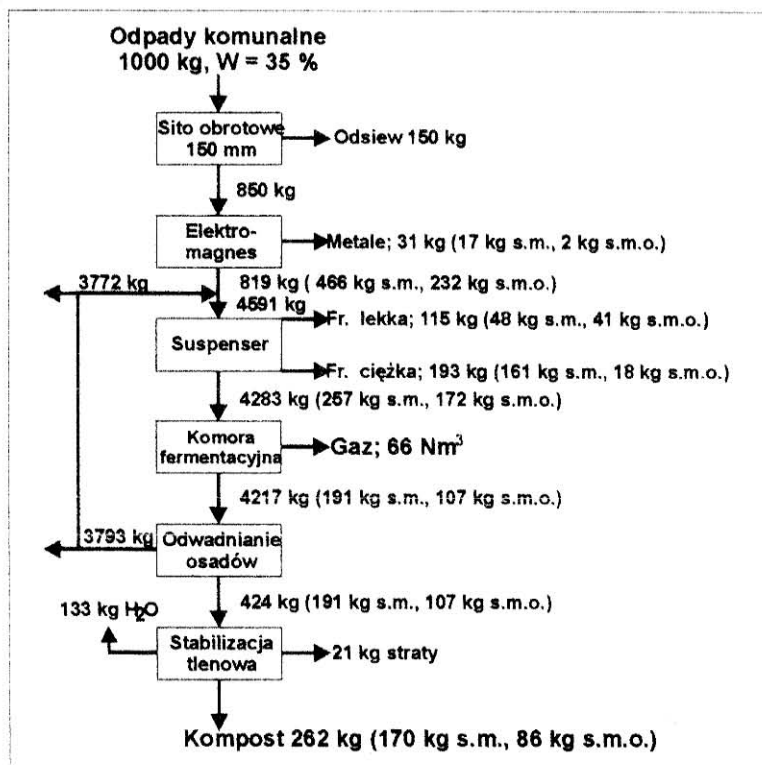
Powyższe wartości bilansowe wyznaczone zostały dla fermentacji zmieszanych odpadów komunalnych. W przypadku fermentacji bioodpadów zbieranych selektywnie produkcja gazu jest wyższa i wynosi do ok. 110 Nm³ na tonę surowych odpadów.

5. KOSZTY INWESTYCYJNE

Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne zależą od rodzaju technologii, stopnia jej zautomatyzowania oraz przepustowości zakładu. Na rys. 6 przedstawiono zmiany jednostkowych wskaźników kosztów budowy (\$/Mg odpadów) instalacji do fermentacji i, dla porównania, kompostowania odpadów w zależności od rocznej ich przepustowości.

Generalnie należy stwierdzić, że koszty budowy zakładu do beztlenowej przeróbki odpadów, o małej przepustowości, są większe niż koszty budowy kompostowni o tej samej przepustowości. Różnica nakładów maleje ze wzrostem przepustowości obiektu i

dla zakładów przetwarzających więcej niż 35000 Mg odpadów rocznie koszty inwestycyjne są porównywalne.



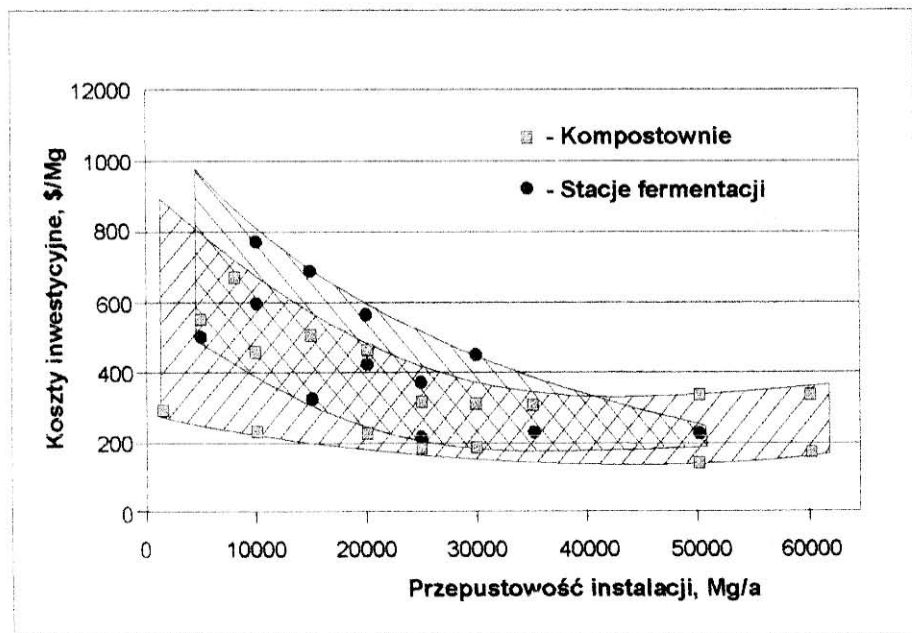
Rys. 5 Bilans masowy procesu fermentacji zmieszanych odpadów komunalnych przy zastosowaniu sita o oczkach 150 mm

Charakterystyczna jest bardzo duża rozpiętość wartości wskaźników kosztów dla instalacji o tej samej przepustowości. Jest ona najczęściej wynikiem różnego technicznego uzbrojenia instalacji.

6. KOSZTY EKSPLOATACJI

Koszty fermentacji odpadów organicznych zależą przede wszystkim od wielkości oraz zróżnicowania technicznego i budowlanego instalacji i wahają się w granicach od 37 do 150 \$/Mg wsadu w technologiach „mokrych” i od 35 do 90 \$/Mg wsadu w fermentacji „suchej”. Ze wzrostem przepustowości urządzeń koszty eksploatacji maleją. Najwyższe koszty eksploatacji wykazywane są dla technologii jednostopniowej BTA (10000 Mg/a, fermentacja mokra) od 125 do 150 \$/Mg wsadu, a najniższe podane zostały dla technologii DRANCO od 35 do 55 \$/Mg wsadu.

Dotychczasowe doświadczenia w Niemczech wykazują, że koszty fermentacji bioodpadów w Zakładach o przepustowości 15000 Mg/rok są porównywalne z kosztami ich przeróbki w kompostowniach. W Zakładach o większych wydajnościach bardziej opłacalna staje się fermentacja odpadów.



Rys. 6 Zmiany jednostkowych wskaźników kosztów budowy (\$/Mg odpadów) instalacji do kompostowania i fermentacji odpadów w zależności od rocznej ich przepustowości

7. WPŁYW INSTALACJI NA ŚRODOWISKO

Oddziaływanie na środowisko instalacji do fermentacji wiąże się przede wszystkim z emisją do środowiska ścieków i gazów.

W procesie fermentacji należy się liczyć z powstawaniem ścieków w ilości od 0,1 do 0,825 m³/Mg wsadu, średnio 0,5 m³/Mg wsadu. Więcej ścieków powstaje w technologiach suchych niż mokrych. Ścieki z procesów fermentacji zawierają znaczne ładunki zanieczyszczeń (rozp. substancje organiczne, zawiesiny), zwłaszcza związków azotu (ponad 1000 mg/l). Obciążenie zanieczyszczeniami ścieków z procesów termofilowych jest większe niż z procesów mezofilowych.

Stabilizowany tlenowo kompost z procesu fermentacji ma właściwości fizyczne i skład chemiczny porównywalne do klasycznego produktu procesu kompostowania. Zawartości substancji szkodliwych w kompoście beztlenowym są takie same jak w kompostach tlenowych, natomiast nie zawierają one szkła i większych kawałków tworzyw sztucznych [4].

Procesy beztlenowe są realizowane w instalacjach zamkniętych, z energetycznym wykorzystaniem produkowanego biogazu. Zużyte powietrze z wentylacji hal technologicznych jest oczyszczane na filtrach biologicznych. Nie ma zatem problemów emisji odorów i aerozoli bakteryjnych.

Przeróbka odpadów metodą tlenową zwiększa emisję CO_2 do atmosfery w porównaniu do emisji naturalnej o 13%, w związku z zapotrzebowaniem dodatkowej energii na operacje techniczne. Konsekwencją jest wzrost stężenia CO_2 w granicach atmosfery ziemi. W przeciwieństwie do kompostowania, emisja CO_2 z procesu fermentacji jest mniejsza niż naturalna, w związku z produkcją energii w nadmiarze (zastępowanie pierwotnej energii). Obniżenie emisji dwutlenku węgla, stosownie do możliwości wykorzystania odpadowego ciepła, może wynosić ok. 30 - 70 % [9]. Jest to o tyle istotne, że ranga ekologicznego bilansu emisji dwutlenku węgla do atmosfery stale wzrasta.

8. PODSUMOWANIE

Biologiczne metody przeróbki odpadów organicznych posiadają silną pozycję w gospodarce odpadowej. O wyborze kompostowania bądź fermentacji decydują zawsze specyficzne uwarunkowania lokalne.

Za beztlenową przeróbką odpadów przemawiają:

- produkcja biogazu, wysokoenergetycznego paliwa, które może być wykorzystane do produkcji energii przyjaznej dla środowiska,
- samowystarczalność energetyczna, a z reguły nadmiar energii umożliwiający jej sprzedaż; wytworzenie nośnika energii w formie gazu prowadzi do dodatniego bilansu energii z procesu fermentacji. W zależności od techniki procesów przetwórczych nadwyżka osiąga 30-60% energii elektrycznej i/lub 30-70% cieplnej,
- *nadrzędna perspektywa użycia regeneratywnych źródeł energii; produkcja energii odnawialnej wpływa pozytywnie na prawie wszystkie kategorie oceny oddziaływania na środowisko; zastępowanie paliw kopalnych zmniejsza emisję pyłów, SO_2 , CO NO_x i gazów cieplarnianych do atmosfery,*
- niezależność od struktury materiału,
- niewielkie zapotrzebowanie terenu; zapotrzebowanie powierzchni dla zakładów fermentacyjnych jest o około 50-80% mniejsze niż dla kompostowni o podobnej przepustowości,
- brak odorów; instalacje do fermentacji odpadów są w pełni hermetyczne; emisja zanieczyszczeń do atmosfery jest minimalna,
- koszty eksploatacyjne dla instalacji o przepustowości 15000 Mg/rok są porównywalne do kosztów stwierdzanych na kompostowniach, a dla zakładów o wyższej przepustowości bardziej efektywna jest fermentacja.

Najlepsze efekty uzyskuje się lokalizując instalację fermentacji w pobliżu zakładu przemysłowego, który będzie odbierał odpadowe ciepło z produkcji energii elektrycznej, przez cały rok.

9. LITERATURA

- [1] BRUMMELER E.T., Koster I.W., Zeevalkink J.A., 1986; *Biogas production from the organic fraction of municipal solid waste by anaerobic digestion*. Proceedings of the International Symposium „Materials and Energy from Refuse”, Antwerp, Belgium, 6.49-6.58. [3]
- [2] DE BAERE L., 1999; *Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art*. Proceedings of the II International symposium on anaerobic digestion of solid waste. Vol. I, pp. 290-299. [4]
- [3] Dyrektywa Rady 99/31/EC, w sprawie ziemnych składowisk odpadów. Official Journal L 182 16/07/1999, ss. 0001-0019. [2]
- [4] GOTTSCHALL, R., Biala, J., Vogtmann, H. (1995). Gartenbauliche Verwertung von kompostiertem BTA-Hydrolyserest aus Bioabfall. Müll und Abfall, 27, S. 829-840. [9]
- [5] IMHOFF R. K. K., 1996; *Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. Poradnik*. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1996. [7]
- [6] JĘDRCZAK A., 1996; *Beztlenowa przeróbka bioodpadów metodą „mokrą” i „suchą”*. Przegląd Komunalny. Część I; Nr 1, s. 16-19, Część II, Nr 2, s. 18-20.
- [7] JĘDRCZAK A. in., 1997; *Projekt Budowlany Zakładu Utylizacji Odpadów Komunalnych i Stabilizacji Osadów Ściekowych w Jędrzychowicach dla miasta i gminy Zgorzelec - ZAKŁAD nr 2*. PBP „EKOSYSTEM”, Sp. z o.o. w Zielonej Górze (kierownik zespołu).
- [8] JĘDRCZAK A., Butrymowicz T., Kowalczyk A., 1999a; *Wskaźniki nagromadzenia i skład grupowy odpadów w Zielonej Górze. Badania niepublikowane*. [8]
- [9] KÜBLER H., Rumphorst M., 1999; *Evaluation of processes for treatment of biowastes under the aspects of energy balance and co2-emission* II International symposium on anaerobic digestion of solid waste. Vol. I, Barcelona 1999, pp. 405-410. [10]
- [10] SCHÖN M., 1994; *Verfahren zur Vergärung organischer Rückstände in der Abfallwirtschaft*. Verlag E. Schmidt GmbH&Co., Berlin, S. 145. [5]
- [11] Ustawa o odpadach, Dz.U. Nr 96, poz. 592, z dnia 27.06.1997. [1]

SUTCO-POLSKA Sp. z o.o.

MECHANICZNO - BIOLOGICZNE PRZETWARZANIE ODPADÓW ORGANICZNYCH I RESZTKOWYCH

Streszczenie

W niniejszym artykule chcemy zaprezentować Państwu zalety mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów w systemie BIOFIX i jednocześnie przedstawić podstawowe przesłanki realizowania nowoczesnych zakładów utylizacji odpadów. W systemie BIOFIX mogą być przetwarzane zarówno odpady organiczne i zielone, jak i odpady reszkowe zawierające frakcję organiczną. W systemie tym wyróżnić można dwie podstawowe fazy przetwarzania odpadów: fazę obróbki mechanicznej polegającą na oczyszczeniu odpadów z materiałów przeszkadzających oraz wysortowaniu surowców nadających się do ponownego użytku oraz fazę obróbki biologicznej przebiegającą w zamkniętych tunelach, przy użyciu przerzucarki BIOFIX.

1. WPROWADZENIE

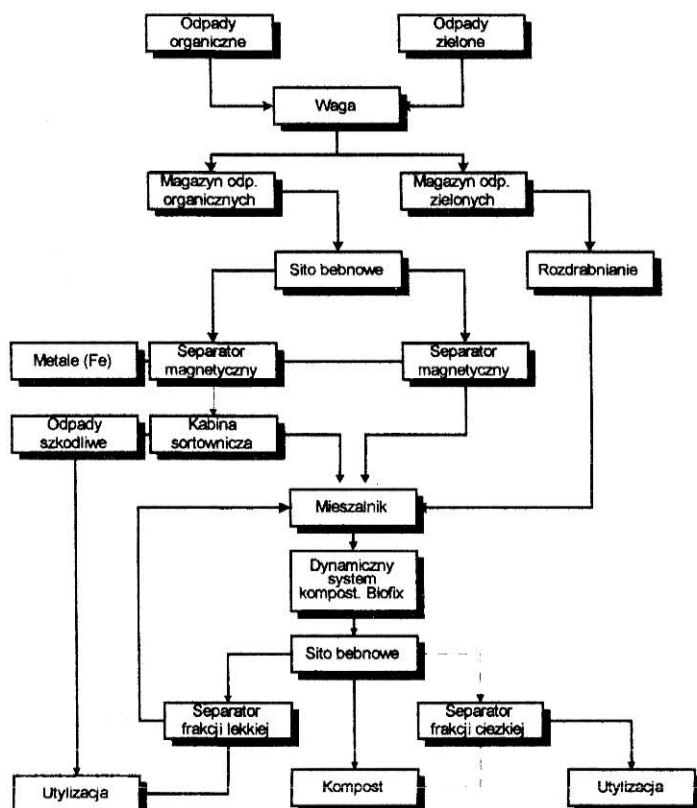
Oszczędzać ograniczone zasoby, wykorzystywać ponownie surowce wtórne oraz redukować substancje szkodliwe to cele, które można urzeczywistniać dzięki systemom i indywidualnym rozwiązaniom firmy **Sutco**.

Aby utrzymywać środowisko naturalne w stanie sprzyjającym życiu i regenerować je tam, gdzie jest ono zanieczyszczone firma **Sutco** udostępnia know how, zdolności inżynierskie oraz kompleksowe zarządzanie projektem aż po produkcję kompletnych systemów i maszyn do recyklingu.

Obok instalacji do odzyskiwania surowców wtórnych firma **Sutco** proponuje także technologie do mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów w systemie BIOFIX. Technologia ta rozwinięta została przy współpracy z firmami zajmującymi się eksploatacją zakładów utylizacji odpadów, przy szczególnym uwzględnieniu jej efektywności oraz funkcjonalności.

KOMPOSTOWANIE ODPADÓW ORGANICZNYCH

2.1. Przygotowanie odpadów do kompostowania



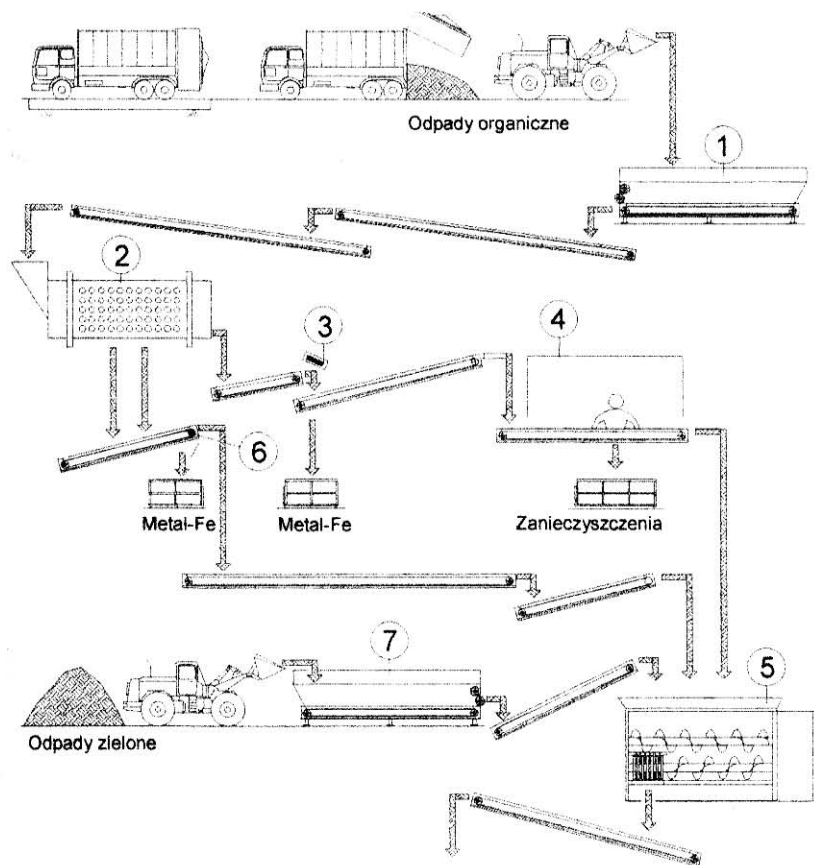
Rys. 1 Schemat zakładu mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów organicznych i zielonych - system BIOFLX

Jakość kompostu zależy w głównej mierze od składu odpadów, stanowiących input do zakładu oraz zastosowanej technologii. Urządzenia firmy *Sutco* są tak skonstruowane, aby przetwarzać odpady organiczne i zielone do wysokowartościowego kompostu.

W zakładach przetwarzania odpadów organicznych i zielonych szczególne znaczenie ma proces przygotowania odpadów do kompostowania. Oznacza to, że poza wysegregowaniem zanieczyszczeń i odpadów balastowych należy stworzyć optymalne warunki dla mikroorganizmów, zapewnić odpowiednią strukturę materiału przeznaczanego do kompostowania, jak i utrzymywać odpowiednią wilgotność i zawartość tlenu.

Odpady są dowożone samochodami do zakładu. Po ich zważeniu oraz zarejestrowaniu wagi, rodzaju i pochodzenia odpadów składowane są w odpowiednim miejscu w hali dostarczania odpadów.

Dostarczone odpady ładowarką kołową transportowane są do stacji nadawczej wyposażonej w dekompaktor (1).



Rys. 2 Schemat ideowy mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów organicznych i zielonych

Zadaniem dekompaktora jest rozluźnienie strumienia odpadów oraz równomierne rozprowadzanie go na przenośnik. Kolejno odpady ciągiem przenośników trafiają do sita bębnowego (2). Tu zostają wydzielone 2 frakcje: 0-80 mm oraz >80 mm.

Nadsitowie, czyli frakcja >80 mm zostaje poddana działaniu separatora magnetycznego (3) wydzielającego metale żelazne, a następnie trafia do kabiny sortowniczej (4). W kabinie sortowniczej manualnie wysortowane zostają odpady szkodliwe i przeszkadzające, które następnie zrzucone na przenośnik doprowadzane zostają do kontenerów. Aby zapewnić pracownikom odpowiednie warunki pracy kabina sortownicza wyposażona jest w nawiewno - wywiewną instalację wentylacyjną z odcciągami znad przenośnika sortującego. W ten sposób oczyszczone odpady organiczne doprowadzane są do mieszalnika (5).

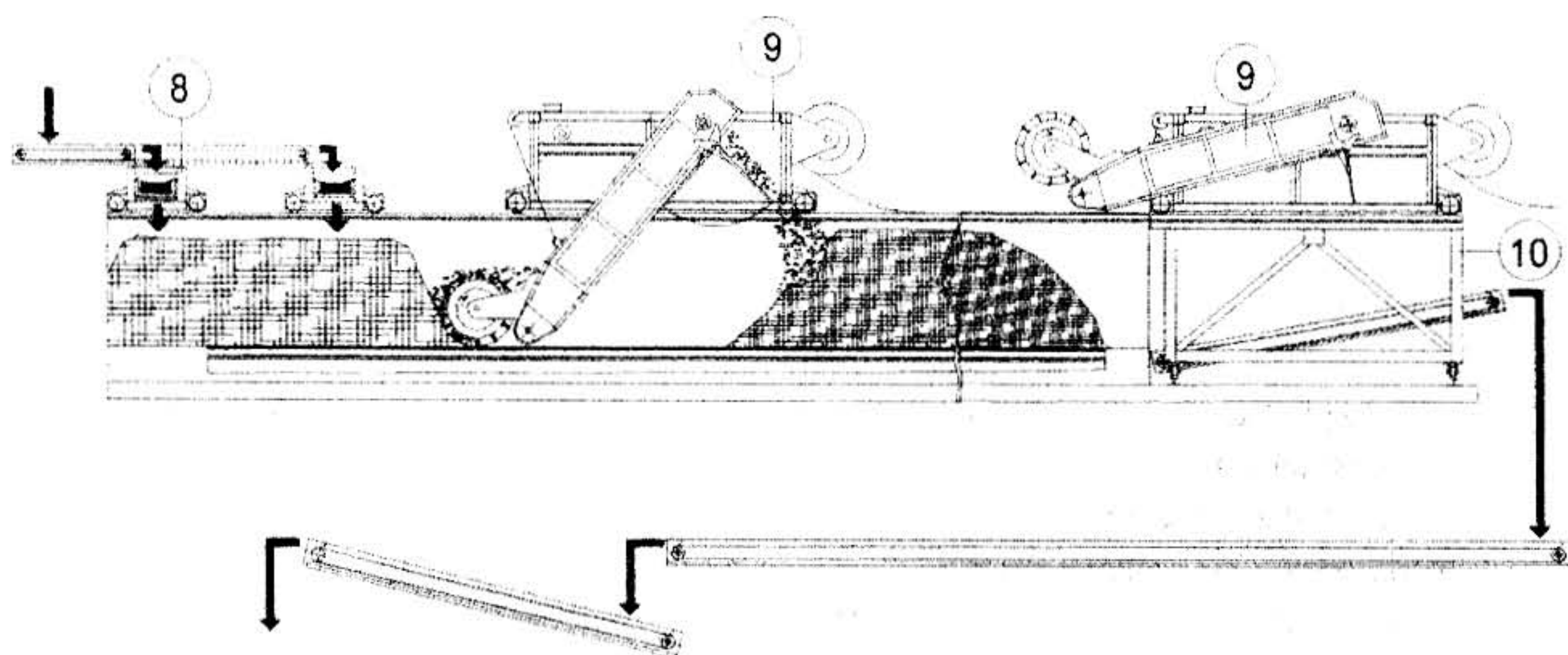
Podsitowie, czyli frakcja 0-80 mm uprzednio poddana działaniu separatora magnetycznego w postaci bębna przenośnika frakcji podsitowej trafia także do mieszalnika (5). Do mieszalnika (5) podawane są również odpady zielone - materiał strukturalny, który po uprzednim rozdrobnieniu ładowarką kołową transportowane są do stacji nadawczej (7).

Mieszalnik (5) - "Mixschredder" - firmy **Sutco**, skonstruowany specjalnie dla odpadów organicznych i zielonych, zapewnia optymalne wymieszanie i rozdrobnienie odpadów, z jednoczesnym dodaniem wody i uzyskanie jednolitego materiału przeznaczonego do kompostowania. Z mieszalnika masa ta systemem przenośników transportowana jest do tuneli - hali intensywnego kompostowania.

2.2. Dynamiczny system kompostowania w tunelach

Proces kompostowania w systemie BIOFIX przebiega w betonowych tunelach w zamkniętej hali. Ilość tuneli jest zależna od ilości materiału przeznaczonego do kompostowania oraz jakości kompostu, jaki chcemy uzyskać na wyjściu. Każdy tunel kompostujący jest podzielony na 4 obszary kompostowania i wyposażony w specjalną betonową podłogę, umożliwiającą stałe napowietrzanie biomasy oraz odprowadzanie wody procesowej (kondensacyjnej i infiltracyjnej). Materiał w poszczególnym tunelu przerzucany jest przez jedną lub kilka przerzucarek BIOFIX oraz wyposażony w jedno lub kilka urządzeń służących do poprzecznego przemieszczania się przerzucarki pomiędzy tunelami.

Za pomocą przejezdnego przenośnika załadowniczego materiał przeznaczony do kompostowania doprowadzany jest do specjalnego automatycznego systemu napełniania tuneli kompostujących, składającego się z mostu załadowniczego oraz przejezdnego rewersyjnego przenośnika załadowniczego. Dzięki temu tunele kompostujące na całej szerokości 5 m, długości ok. 6,85 m oraz wysokości od 2,5 m do 3,2 m są automatycznie i równomiernie napełniane. Wysokość materiału w tunelu kontrolowana jest przez ultradźwiękowy wskaźnik poziomu.



Rys. 3 Schemat ideowy procesu intensywnego kompostowania odpadów organicznych i zielonych

Czas, przez jaki stale napowietrzany materiał pozostaje w tunelu zależy od tego, jaki stopień humusowania chcemy uzyskać. Po upływie ok. 2 -3 dni materiał przerzucany jest przerzucarką BIOFIX (9). W czasie intensywnego kompostowania materiał przerzucany jest x-razy (np.: w celu osiągnięcia stopnia humusowania IV wg normy LAGA M 10 - 10 razy), przebywając drogę od początku do końca tunelu.

Przerzucarka BIOFIX (9) pomiędzy tunelami porusza się za pomocą urządzenia do poprzecznego przemieszczania (10), a w tunelu jedzie na specjalnych szynach zamocowanych na ścianach tunelu. Przy pierwszym cyklu przerzucania zaczyna drogę od urządzenia (10) i przemieszcza się przez pusty tunel do jego początku, gdzie znajduje się pierwsza partia materiału. Walec przerzucający, znajdujący się nieco nad podłogą tunelu, wjeżdża w materiał z prędkością 60-75 obrotów/min. Za pomocą ukośnego przenośnika zgrzeblowego materiał zostaje przerzucony do tyłu, zapewnia to jego optymalne rozdrobnienie, rozluźnienie i homogenizację.

Przenośnik zgrzeblowy podaje materiał do tyłu i przekazuje go do rynny uchyłnej o specjalnej konstrukcji. System ten umożliwia przerzucenie materiału o ok. 5,5 m do tyłu bez zagęszczenia. W trakcie przerzucania materiał w razie potrzeby może zostać dodatkowo nawilżony, przy wykorzystaniu m.in. wody procesowej.

W większości przypadków materiał pozostaje w tunelach do momentu osiągnięcia stopnia humusowania IV-V wg normy LAGA M10. Możliwe jest jednak uzyskanie świeżego kompostu o stopniu humusowania II-III, redukując czas kompostowania.

2.3. Wentylacja i oczyszczanie powietrza

Istotnym elementem planowania i budowy kompostowni jest zapobieganie powstającym tu nieprzyjemnym zapachom. Aby zredukować emisję nieprzyjemnych zapachów zakład wyposażony jest w specjalny system wentylacji, który zapewnia optymalną kumulację zanieczyszczonego powietrza, jego dezodoryzację oraz minimalizuje ilości powietrza odprowadzonego do atmosfery.

Aby osiągnąć maksymalny stopień rozkładu substancji organicznych muszą zostać stworzone odpowiednie warunki dla mikroorganizmów. Oznacza to m.in., że materiał musi być zaopatrywany w odpowiednie ilości tlenu. System wentylacyjny jest więc tak skonstruowany, aby na małych obszarach zapewniać optymalne warunki. Tunele podczas poszczególnych faz kompostowania napowietrzane są w systemie ssącym, średnia ilość dostarczanego powietrza wynosi $6-8 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3 \text{ materiału/h}$.

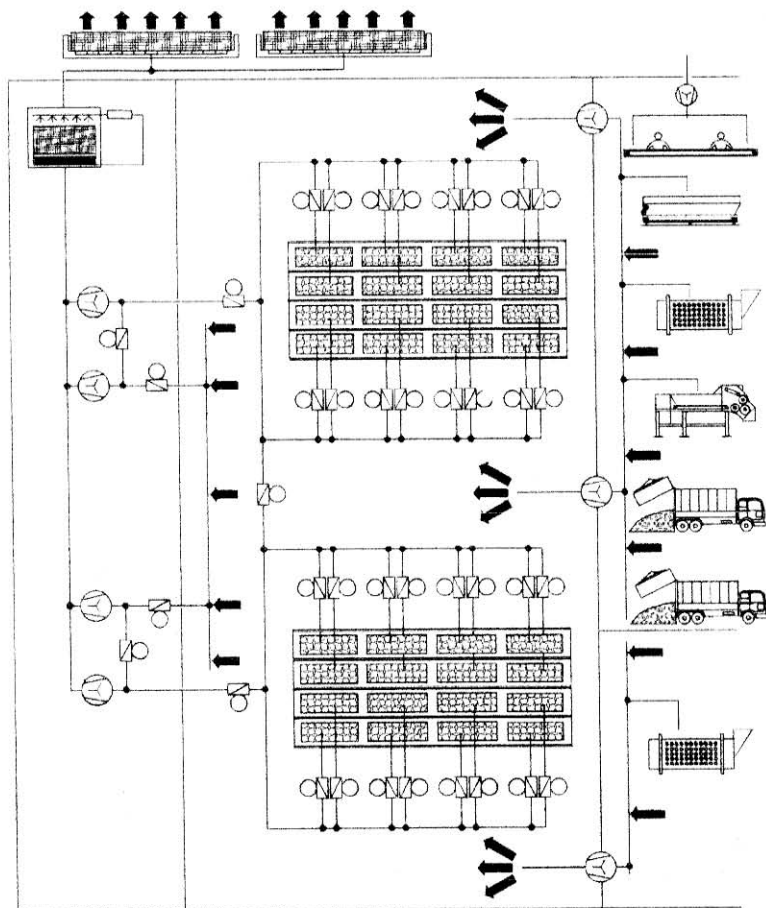
Ponieważ zapotrzebowanie biomasy na tlen jest różne w różnych fazach kompostowania w kanałach przepływowych mierzona jest zawartość tlenu oraz temperatura. W oparciu o te dane regulowana jest ilość dostarczanego tlenu.

Dynamiczny system kompostowania firmy **Sutco** zapewnia odpowiednią higienizację biomasy, dzięki kontrolowaniu przebiegu temperatury w trakcie poszczególnych faz kompostowania.

Powietrze wylotowe z tuneli kompostujących razem z odessanym powietrzem z hali intensywnego kompostowania transportowane jest do obszaru oczyszczania powietrza. Tak skonstruowany system wentylacyjny gwarantuje wielokrotną wymianę powietrza. Aby łączna ilość powietrza odprowadzana z całego obszaru intensywnego kompostowania pozostała niezmienna, ilość powietrza odprowadzana z hali przez

regulowane wentylatory może zostać zwiększona w sytuacji, gdy ilość powietrza odprowadzanego z tuneli zmniejsza się np. w trakcie pracy przerzucarki. Następnie dwa odprowadzone strumienie powietrza trafiają do nawilzacza powietrza, który zapewnia wilgotność $> 96\%$.

Po wyjściu z nawilzacza powietrze transportowane jest do biofiltra zbudowanego z dwóch niezależnych segmentów, wyposażonego w specjalną podłogę umożliwiającą napowietrzanie. Jako wypełnienie biofiltra mogą zostać użyte: kompost, torf włóknisty, wrzos lub kora drzewna. Specjalna podłoga wentylacyjna oraz staranne dobranie materiałów wypełniających biofiltr gwarantują optymalny proces wymiany powietrza. Dzięki przenikaniu zanieczyszczonego powietrza przez tak skonstruowany filtr biologiczny możliwa jest jego dezodoryzacja.



Rys. 4 Schemat instalacji wentylacyjnej

1.4. Uszlachetnianie kompostu

Po opuszczeniu tuneli kompost może zostać jeszcze dodatkowo uszlachetniony. Uszlachetnienie to przebiega za pomocą urządzeń takich jak: sito bębnowe, sito płaskie lub separator frakcji lekkich lub balistyczny. Kompost zostaje tu oczyszczony z materiałów zanieczyszczających jego strukturę oraz obniżających jego jakość.

2. PRZETWARZANIE ODPADÓW RESZTKOWYCH ZAWIERAJĄCYCH FRAKCJĘ ORGANICZNĄ

Po wykluczeniu wszystkich możliwości wykorzystania czy unieszkodliwiania pozostające odpady resztkowe mogą być przetwarzane w zakładach mechaniczno-biologicznej przeróbki odpadów. Technologia ta zapewnia poprzez optymalny rozkład substancji organicznych, znaczną redukcję masy, a dzięki temu wpływa na oszczędzanie cennego miejsca na wysypisku. Towarzyszy temu redukcja emisji nieprzyjemnych zapachów oraz ilości wód infiltrujących. Zakłady mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów resztkowych mogą stanowić także etap wstępny przed ich termiczną utylizacją, w celu wytworzenia nadającego się do magazynowania paliwa alternatywnego o wysokiej wartości opałowej i niewielkiej objętości.

3.1. Przygotowywanie odpadów resztkowych z zawartością frakcji organicznej

Dostarczone odpady ładowarką kołową transportowane są do stacji nadawczej, stamtąd trafiają do sita bębnowego, gdzie następuje ich podział na frakcje: 0-80 mm i >80 mm. Nadsitowie, czyli frakcja > 80 mm trafia do kabiny sortowniczej, gdzie manualnie wysortowane zostają odpady szkodliwe i przeszkadzające. Strumień odpadów kolejno ciągiem przenośników transportowany jest do rozdrabniacza. Odpady wielkogabarytowe są bezpośrednio podawane do rozdrabniacza.

Rozdrobniony materiał transportowany jest do separatora powietrznego, gdzie ze strumienia odpadów odseparowane zostają materiały lekkie, podawane następnie do prasy belującej. Wydzielona w ten sposób frakcja lekka posiada dużą wartość energetyczną.

Odpady frakcji ciężkiej razem z podsitowiem (frakcja <80 mm) poddawane są działaniu separatora magnetycznego, a potem zostają doprowadzane do sita mieszającego.

W sicie mieszającym materiał zostaje odpowiednio rozdrobniony i rozluźniony - przygotowany do stabilizacji w procesie kompostowania. W sicie następuje kolejny podział na frakcje <140mm i >140mm. Nadsitowie trafia z powrotem do rozdrabniacza, a podsitowie transportowane jest do hali obróbki biologicznej - kompostowania.

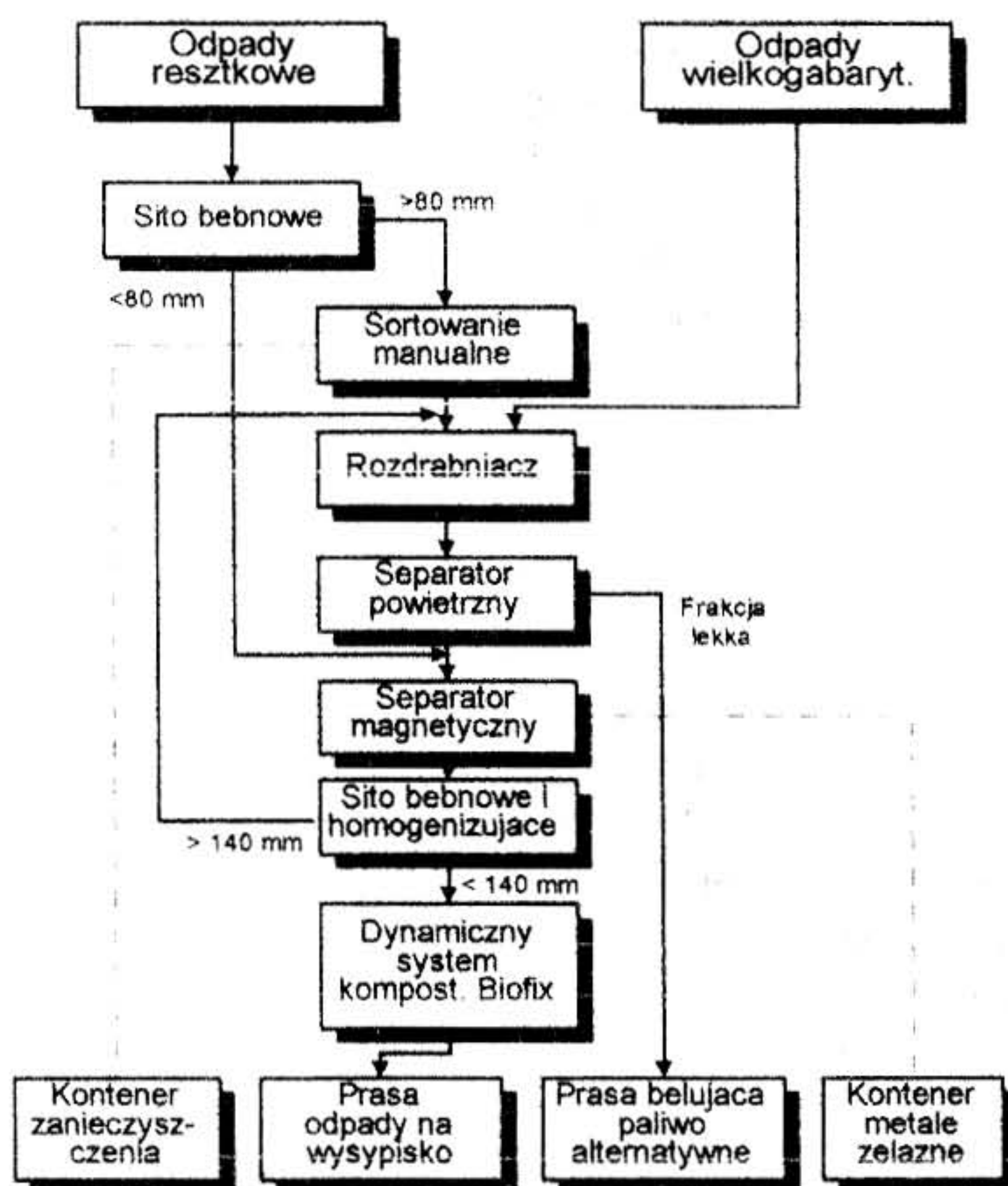
3.2. Stabilizacja odpadów resztkowych z zawartością frakcji organicznej

Proces przetwarzania odpadów resztkowych przebiega analogicznie do opisanego powyżej procesu kompostowania odpadów organicznych. Jednak podczas gdy w wyniku kompostowania odpadów organicznych otrzymujemy wysokowartościowy kompost, to efektem przetwarzania i stabilizacji odpadów resztkowych jest znaczna

redukcja substancji organicznych w celu zmniejszenia emisji nieprzyjemnych zapachów i odcieków oraz zmniejszenie objętości odpadów przeznaczonych na wysypisko a także uzyskanie frakcji o wysokiej wartości kalorycznej.

Biologiczna obróbka przebiega tu także systemem BIOFIX - w betonowych tunelach z automatyczną przerzucarką. Efektem zastosowania przerzucarki jest dodatkowe rozdrobnienie materiału, co z kolei sprzyja szybszemu rozkładowi substancji organicznych i redukcji objętości odpadów. Pod koniec fazy intensywnego kompostowania materiał może zostać poprzez zwiększoną ilość przepływu powietrza osuszony.

Materiał po opuszczeniu tuneli kompostujących trafia do hali przeładunkowej, gdzie zostaje sprasowany i w tej formie wywieziony na wysypisko.



Rys. 5 Schemat zakładu mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów reszkowych- system BIOFIX

3. ZALETY MECHANICZNO-BIOLOGICZNEGO PRZETWARZANIA ODPADÓW SYSTEMEM BIOFIX

- Wytworzenie najwyższej jakości kompostu w krótkim czasie
- Najwyższy stopień rozkładu substancji organicznych i redukcja objętości w krótkim czasie
- Uzyskanie wysokokalorycznej frakcji
- Optymalne rozdrobnienie, rozluźnienie i homogenizacja podczas przerzucania

- Automatyczne sterowanie procesem kompostowania m.in. procesem napowietrzania i nawilżania
- Optymalny proces odprowadzania zanieczyszczonego powietrza w systemie ssącym
- Efektywne wielostopniowe oczyszczanie powietrza w nawilżacz powietrza i biofiltrach

Efektywny dzięki niewielkiemu zapotrzebowaniu na energię

Efektywny dzięki redukcji kosztów personalnych

Efektywny dzięki wytworzeniu najwyższej jakości kompostu po 5 tygodniach - stopień humusowania IV wg normy LAGA M10 lub dzięki produkcji wysokokalorycznego paliwa alternatywnego

Efektywny dzięki minimalizacji prac serwisowych i naprawczych w wyniku zastosowania nowoczesnej, sprawdzonej technologii

Efektywny dzięki modułowej, zamkniętej budowie

4. ZREALIZOWANE PRZEDSIĘWZIĘCIA

Od roku 1985 firma **Sutco** wykonała ponad 100 instalacji lub komponentów do zakładów utylizacji odpadów w następujących obszarach:

- sortownie mieszanych odpadów budowlanych
- sortownie odpadów lekkich oraz surowców wtórnych zebranych selektywnie
- sortownie odpadów przemysłowych i opakowań transportowych
- linie do utylizacji urządzeń chłodniczych
- kompostownie odpadów organicznych
- zakłady mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów resztkowych
- instalacje do produkcji paliwa alternatywnego
- linie do sortowania odpadów przed spalaniem
- instalacje do utylizacji żużla

W przypadku dalszych pytań czy bardziej szczegółowych informacji dotyczących poszczególnych systemów utylizacji odpadów pozostajemy do Państwa dyspozycji:



Sutco-Polska Sp. z o.o.
ul. Jedności 10
PL 41-208 Sosnowiec
tel.: +48-(0)32-263 2001
fax: +48-(0)32-263 1427
www.sutco-polska.com.pl
e-mail: sutco@sutco-polska.com.pl



Sutco Maschinenbau GmbH & Co. KG
Britanniahütte 14
D-51469 Bergisch Gladbach
tel.: +49-(0)2202-2005 01
fax: +49-(0)2202-2005 70
www.sutco.de
e-mail: sutco@t-online.de

Marian KRZYWICKI**Miejskiego Przedsiębiorstwa Oczyszczania w m. st. Warszawie****KOMPOSTOWANIE ODPADÓW KOMUNALNYCH METODĄ
BIOSTABILIZACJI WEDŁUG TECHNOLOGII „DANO”**

1. Ochrona naturalnego środowiska jest splotem zadań ponadustrojowych i ponad regionalnych. Na konferencji w Lucernie w 1993 roku został przyjęty „Program działań na rzecz ochrony środowiska dla Europy Środkowej i Wschodniej”. W programie tym stwierdzono między innymi że: Ochrona europejskiego dziedzictwa przyrodniczego jest konieczne dla zrównoważonego rozwoju (ekorozwoju) naszego kontynentu. Jest to wspólny obowiązek wszystkich krajów i regionów, a zdania z związane mogą być wykonane tylko w skali ogólnoeuropejskiej. Przez zrównoważony rozwój należy rozumieć taki rozwój społeczno-gospodarczy, w którym, w celu zrównoważenia szans dostępu do środowiska poszczególnych społeczeństw lub ich obywateli – zarówno współczesnego, jak i przyszłych pokoleń – następuje proces integrowania działań politycznych, gospodarczych i społecznych z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych. Jednym z podstawowych zadań zrównoważonego rozwoju jest program gospodarki odpadami. Według danych statystycznych, w Polsce większość odpadów komunalnych jest deponowana na składowiskach, natomiast niewiele więcej niż połowa odpadów przemysłowych jest wykorzystywana jako surowiec wtórny. Ta sytuacja winna ulec zmianie. Programy gospodarki odpadami winny uwzględniać ekonomicznie uzasadniony odzysk materiałów (surowcowy) i energetyczny. Z tego powodu gospodarka odpadami winna opierać się na następujących przedsięwzięciach:

- minimalizacja odpadów u źródła ich powstawania
- selektywnej zbiórki i recyklingu
- kompostowaniu
- termicznej utylizacji (spalaniu)
- deponowaniu odpadów nie reagujących, obojętnych (inertnych)

Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania w Mieście Stołecznym Warszawie już od roku 1956 w ramach własnych programów gospodarki odpadami, rozpoczęło produkcję kompostu z odpadów komunalnych z których wyselekcjonowano odpady organiczne, według technologii biostabilizacji duńskiej firmy „Dano”. Wybudowany w latach sześćdziesiątych przy ulicy Kampinoskiej Zakład Utylizacji Odpadów Komunalnych przerabiał około 1% ówczesnie wytworzonych w Warszawie odpadów komunalnych tj. około 50 ton odpadów w ciągu doby. Z odpadów tych otrzymywano pełnowartościowy kompost, który stanowił ponad 45% udział ogólną masę dostarczonych odpadów. Technologia biostabilizacji (przyspieszonego rozkładu masy

organicznej rozdrobnionej w bębnach biostabilizacyjnych) pozwalała na wykorzystanie odpadów gospodarczo-bytowych z gospodarstw domowych jako surowca do produkcji nawozu organicznego, charakteryzującego się wartościami nawozu naturalnego (obornik). Uruchomiony na początku lat sześćdziesiątych biostabilizacyjny ciąg kompostowy stanowił pilotażowy program wykorzystania odpadów bytowo-gospodarczych z odpadów komunalnych do produkcji kompostu. Wykorzystując doświadczenia z programu pilotażowego, na początku lat dziewięćdziesiątych rozbudowano Zakład Utylizacji Odpadów Komunalnych poprzez zainstalowanie, w pierwszym etapie rozbudowy (do 1992r.) dwóch biostabilizatorów o dobowej mocy przerobowej każdego z nich 120 ton dostarczonych odpadów, zaś w drugim etapie dodatkowych dwóch biostabilizatorów o dobowej mocy przerobowej 145 ton odpadów każdego z nich. Tak więc obecna dobową moc przerobową wszystkich ciągów biostabilizacyjnych (bez wyeksploatowanego ciągu pilotażowego) osiąga granicę 540 ton, wyselekcjonowanych z odpadów komunalnych odpadów bytowo-gospodarczych. Wraz z nastaniem współczesnej cywilizacji i gospodarki rynkowej w odpadach komunalnych pojawiły się odpady nieorganiczne, a wśród nich wyroby z tworzyw sztucznych zajmujące coraz więcej miejsca oraz odpady ceramiczno-szklane. Z tego powodu zmalała ilość wyprodukowanego z odpadów kompostu, który obecnie stanowi 25% udział w ogólnej masie dostarczonych do kompostowni odpadów, pozostałość to tzw. balast technologiczny. Wyprodukowany metodą biostabilizacji kompost po oddzieleniu z niego zanieczyszczeń nieprzetwarzalnych, poddawany jest w pryzmach na placach składowych, drugiemu etapowi kompostowania tzw. dojrzewaniu, poprzez napowietrzanie pryzm metodą przerzucania. Ten etap trwa około 8 tygodni. Podczas tego etapu wskutek wytwarzanej w pryzmach na placach składowych, drugiemu etapowi kompostowania tzw. dojrzewaniu poprzez napowietrzanie pryzm metodą przerzucania. ten typ trwa około 8 tygodni. Podczas tego etapu wskutek wytwarzanej w kompoście temperatury następuje dalsza higienizacja kompostu. Po drugim etapie kompostowania, podczas którego kompost poddawany jest stałemu monitoringowi badawczemu, może on być wykorzystaniem w mieszaniu z ziemią do celów rekultywacyjnych wyeksploatowanych wysypisk, wyrobisk ziemnych i innych obiektów wymagających tego rodzaju zabiegów, lub też po tzw. procesie uszlachetniania (dalsza eliminacja zanieczyszczeń) na sitach przesiewających o zmniejszonych wymiarach oczek sita (12x12 mm), do nawożenia terenów zieleni, łąk i nieużytków rolnych. Te wartości kompostu wyprodukowanego metodą biostabilizacji „Dano” potwierdzone zostały przeprowadzonymi badaniami w latach 1996-1999 w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych w Falantach pod kierunkiem dr inż. Krystyny Głowackiej-Kostyry oraz w Instytucie Ochrony Środowiska pod kierunkiem Prof. dr hab. Jana Sity. W poniżej zamieszczonych tabelach przedstawiono wyniki badań fizyko-chemicznych dojrzałego kompostu. Tabela nr 1 kompostu nieuszlachetnionego z produkcji z dnia 05.01.2000r. W tabeli nr 2 kompostu uszlachetnionego z badań dnia 29.09.1999r. Kompost uszlachetniony produkuje się w miarę możliwości jego sprzedaży. Sprzedaż kompostu uszlachetnionego obrazuje tabela nr 3. Tabela nr 4 obrazuje właściwości kompostu „Dano” zastosowanego do nawożenia użytków zielonych (łąk i pastwisk).

Wyniki badań fizyko-chemicznych kompostu dojrzałego zawarte w tabelach nr 1 i 2 są wynikami wybranymi przykładowo, gdyż jak wspomniano wcześniej, produkowany kompost jest poddawany stałemu monitoringowi badawczemu.

Tabela 1

Wyniki badań fizyko-chemicznych kompostu dojrzałego nieuszlachetnionego produkcja z dnia 05.01.2000r.

L. P.	Cecha	Wynik	Uwagi
1.	Zawartość substancji organicznych [% s.m.] wg BN-88/9103-07	40,5	norma dla I kl. jakości
2.	Zawartość węgla organicznego [% s.m.] wg PN-91/Z-15005	20,0	norma dla I kl. jakości
3.	Zawartość azotu organicznego [% s.m.] wg BN-90/9103-10	0,9	norma dla I kl. jakości
4.	Zawartość fosforu [% P ₂ O ₅ w s.m.] wg BN-88/9103-06	0,5	norma dla II kl. jakości
5.	Zawartość potasu [% K ₂ O w s.m.] wg BN-88/9103-05	0,1	norma dla II kl. jakości
6.	Odczyn pH wg BN-72/0520-09	8,1	norma dla III kl. jakości
7.	Zawartość szkła i ceramiki [%] wg BN-88/9103-07	50,0	norma dla III kl. jakości
8.	Zawartość szkła i ceramiki [%] wg BN-88/9103-03	24,9	max wart. wg normy 2,0%
9.	Zawartość metali ciężkich wg PN-92/C-04570		
a.	Kadm (Cd) [mg/kg s.m.]	1,8	norma dla I kl. jakości
b.	Chrom (Cr) [mg/kg s.m.]	48	norma dla I kl. jakości
c.	Miedź (Cu) [mg/kg s.m.]	320	norma dla II kl. jakości
d.	Nikiel (Ni) [mg/kg s.m.]	27	norma dla I kl. jakości
e.	Ołów (Pb) [mg/kg s.m.]	380	norma dla II kl. jakości
f.	Cynk (Zn) [mg/kg s.m.]	970	norma dla I kl. jakości

Tabela 2

Wyniki badań fizyko-chemicznych kompostu dojrzałego uszlachetnionego
 próba badawcza z dnia 29.09.1999r.

L. P.	Cecha	Wynik	Uwagi
1.	Zawartość substancji organicznych [% s.m.] wg BN-88/9103-07	41,0	norma dla I kl. jakości
2.	Zawartość węgla organicznego [% s.m.] wg PN-91/Z-15005	18,3	norma dla I kl. jakości
3.	Zawartość azotu organicznego [% s.m.] wg BN-90/9103-10	1,0	norma dla I kl. jakości
4.	Zawartość fosforu [% P ₂ O ₅ w s.m.] wg BN-88/9103-06	0,5	norma dla II kl. jakości
5.	Zawartość potasu [% K ₂ O w s.m.] wg BN-88/9103-05	0,3	norma dla II kl. jakości
6.	Odczyn pH wg BN-72/0520-09	8,3	norma dla III kl. jakości
7.	Zawartość szkła i ceramiki [%] wg BN-88/9103-07	20,0	norma dla III kl. jakości
8.	Zawartość szkła i ceramiki [%] wg BN-88/9103-03	47,0	max wart. wg normy 2,0%
9.	Zawartość metali ciężkich wg PN-92/C-04570		
a.	Kadm (Cd) [mg/kg s.m.]	3,9	norma dla I kl. jakości
b.	Chrom (Cr) [mg/kg s.m.]	53	norma dla I kl. jakości
c.	Miedź (Cu) [mg/kg s.m.]	350	norma dla II kl. jakości
d.	Nikiel (Ni) [mg/kg s.m.]	34	norma dla I kl. jakości
e.	Ołów (Pb) [mg/kg s.m.]	1000	powyżej górnej granicy normy
f.	Cynk (Zn) [mg/kg s.m.]	1900	norma dla II kl. jakości

Tabela 3

Sprzedaż kompostu uszlachetnionego odbiorcom indywidualnym

Rok	Produkcja kompostu [Mg] wartość w %	Sprzedaż kompostu [Mg] wartość w %
1996	41 493 100%	772,4 1,9%
1997	39 859 100%	562,7 1,4%
1998	36 217 100%	759 2,1%
1999 I-VII	17 164,6 100%	476,2 2,8%

Tabela 4

Właściwości kompostu „Dano” zastosowanego do nawożenia użytków zielonych oraz wymagania dotyczące jakości kompostu wg normy

Termin nawożenia	Właściwości nawozowe [% s.m.]					Metale ciężkie					
	sub. org.	węg. org.	azot org.	P ₂ O ₅ fosfor	K ₂ O potas	Zn Cynk	Pb ołów	Cd kadm	Cu miedź	Cr Chro m	Ni nikiel
26.04.96	48,3	12,2	0,74	0,52	0,41	1400	610	6,0	390	130	40
25.10.96	41,8	12,7	1,00	0,59	0,20	1640	685	8,1	585	170	90
25.04.97	32,4	13,2	1,11	0,78	0,24	1790	540	7,6	344	83	43
28.10.97	36,5	16,8	1,26	0,62	0,28	1540	480	1,9	390	135	67
05.05.98	44,2	18,0	1,28	0,56	0,25	1800	870	13,0	300	87	38
13.10.98	47,8	18,3	1,25	0,62	0,28	1500	1200	5,7	590	64	64
26.04.99	37,8	16,2	1,04	0,71	0,38	1600	980	3,7	540	42	39
średnio 96-99	41,3	15,3	1,10	0,63 (0,27 P)	0,29 (0,24 K)	1610	766	6,6	448	102	54
Wymagania dotyczące jakości kompostu wg BN-89/9103-09											
Klasa I	40	18	0,8	0,6	0,2	1500	350	5	300	300	100
Klasa II	30	13	0,6	0,4	0,1	2500	500	15	600	500	200
Klasa III	20	8	0,3	0,3	0,1	2500	800	25	800	800	200

Wyniki badań fizyko-chemicznych dojrzałego kompostu „Dano” zawarte w tabelach 1 i 2 oraz właściwości nawozowe zawarte w tabeli 3 wyraźnie wskazują, że kompost „Dano” z odpadów gospodarczo-bytowych wyselekcjonowanych z odpadów komunalnych Warszawy zawiera znaczną ilość substancji organicznej oraz węgla i azotu, niewiele zaś fosforu i potasu. Charakteryzuje się również dużym zróżnicowaniem chemicznym w aspekcie zawartości niektórych metali ciężkich (Pb, Cr, Ni, Cu, Zn i Cd). Zmienna często dość wysoka zawartość ołowiu powoduje jego ograniczone stosowanie do nawożenia gleb wykorzystywanych rolniczo. Również zawartość zanieczyszczeń ceramiczno-szkłanych ogranicza jego stosowanie.

Z przeprowadzonych badań nasuwają się następujące wnioski:

- Kompost „Dano” z Radiowa w Warszawie uzupełniony nawozami fosforowymi i potasowymi jest cennym nawozem organicznym nadającym się do nawożenia łąk i użytków zielonych.
- Nawożenie łąk i użytków zielonych kompostem „Dano”, powoduje korzystne zmiany w składzie gatunkowym runi łąkowej – zwiększanie procentowego udziału wysokowartościowych traw i roślin motylkowych.
- Stosowanie nawożenia kompostem „Dano” w odpowiedniej dawce (10 ton substancji organicznej na hektar) jest bezpieczne pod kątem zawartości w roślinności niektórych metali ciężkich.
- Wyeliminowanie zanieczyszczeń ceramiczno-szklanych z kompostu pozwoli na rozszerzenie zakresu jego stosowania, pod warunkiem jednak zachowania kwasowości upraw w granicach 5,6÷6,5 pH ze względu na dużą ruchliwość metali ciężkich w kwaśnym środowisku glebowym.

Andrzej MALARA

Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Katowicach

OCENA EFEKTÓW UNIESZKODLIWIANIA ODPADÓW KOMUNALNYCH W KATOWICKIEJ KOMPOSTOWNI

Wprowadzenie

W zależności od regionu, świadomości ekologicznej mieszkańców gmin, możliwości finansowych, formy własności oraz wielkości podmiotów trudniących się zagadnieniem utylizacji odpadów komunalnych działania w tym zakresie są bardzo podobne aczkolwiek zróżnicowane.

Różnice te dotyczą tak rozwiązań merytorycznych, zastosowanych technologii, logistyki jak i sposobów finansowania tych rozwiązań.

Postaram się tutaj przedstawić funkcjonowanie oraz ocenę efektów unieszkodliwiania odpadów w Kompostowni Katowice, której działalność finansowana jest w ramach MPGK Sp. z o.o. w Katowicach.

1. OTOCZENIE ZEWNĘTRZNE.

MPGK Katowice Sp. z o.o. jako firma wiodąca na terenie miasta i obsługuje 85% rynku w zakresie odbioru odpadów komunalnych.

Wysypisko odpadów komunalnych w Katowicach zostało zamknięte w dniu 01-07-1996r. Zamknięcie wysypiska spowodowało określone trudności związane z lokowaniem odpadów komunalnych. a ponadto określone skutki finansowe związane z kosztami transportu oraz cenami za utylizację odpadów.

Nowe składowisko odpadów zostało oddane do eksploatacji 06-12-1999 roku.

2. KOMPOSTOWNIA

2.1 Rys historyczny

Kompostownia w Katowicach została wybudowana przez austriacką firmę MUT i funkcjonuje według technologii MUT-DANO. Uruchomienie linii technologicznych nastąpiło w 1989r. a zakład stanowi majątek MPGK Katowice Sp. z o.o..

Od tego czasu kompostownia pracuje bez przerwy za wyjątkiem przestojów na konserwacje oraz remonty urządzeń, których po dziesięciu latach eksploatacji jest coraz więcej a ich koszty są niebagatelne.

2.2. Procesy przebiegające podczas kompostowania

Istotną rolę w umożliwieniu wykorzystania odpadów organicznych do celów rolniczych odgrywa proces częściowego ich rozkładu biologicznego w warunkach tlenowych. Jest to skomplikowany proces biotechnologiczny, polegający na częściowym rozkładzie substancji organicznej w warunkach tlenowych pod wpływem mikroorganizmów (głównie chemoheterotroficznych bakterii i grzybów) do prostych połączeń (CO_2 i H_2O) oraz stosunkowo stabilnej pozostałości składającej się z trudnorozkładalnych w warunkach glebowych resztek pochodzenia organicznego.

Przebieg i wydajność procesu kompostowania zależy głównie od składu, stopnia rozdrobnienia, wilgotności i temperatury. W czasie kompostowania powstają znaczne ilości energii, co objawia się wzrostem temperatury bębna biostabilizatora i przyzmy kompostowej.

Ten wzrost temperatury powoduje częściową sterylizację kompostu eliminując głównie drobnoustroje chorobotwórcze.

2.3. Krótki opis procesu technologicznego

Niesortowane odpady komunalne przeznaczone są do utylizacji metodą kompostowania - systemem MUT-DANO. W systemie tym pracują dwa ciągi technologiczne z biostabilizatorami (o wydajności 120 ton/dobę)

System MUT-DANO przeznaczony jest do utylizacji niesortowanych odpadów komunalnych metodą kompostowania. Podstawowe funkcje to zmniejszenie objętości odpadów, wydzielenie z nich części organicznej z której jako produkt uboczny poprzez kompostowanie uzyskuje się kompost nadający się do dalszego zagospodarowania. Wychodzący z cyklu balast jest zhomogenizowany i zawiera do 3% części organicznych, spełniając tym samym warunki Unii Europejskiej stawiane odpadom składowanym na składowiskach.

Proces technologiczny rozpoczyna się już na wadze, gdzie każdy wjeżdżający i wyjeżdżający samochód jest ważony i rejestrowany.

Odpady rozładowywane są do bunkra zbiorczego skąd chwytakiem ładuje się je na taśmociągi płytowe prowadzące do bębnow biostabilizatorów, które stanowią serce kompostowni.

Bębny to dwie stalowe rury wypełnione odpadami, poddawane obrotom przez 24 godziny na dobę z odpowiednimi prędkościami

I	- zmiana	-	1,6 obr./min.
II i III	- zmiana	-	0,8 obr./min.

Jest to praca bezobsługowa w cyklu automatycznym. Czas kompostowania trwa 24 - 36 godzin w bębnie oraz od 3 do 6-ciu miesięcy na przyzmach.

W trakcie procesu kompostowania kontrolowana jest wysokość napełnienia bębna (1,9-2,1 m), wilgotność (50-55%), napowietrzanie (30-40%), temperatura (50-60°C) oraz obciążenia prądowe napędów bębnow.

W biostabilizatorze zachodzą procesy homogenizacji, mineralizacji i higienizacji w temperaturze 55°C. Podczas biostabilizacji wydzielą się ciepło, para wodna i gazy pofermentacyjne, które są oczyszczane poprzez system wentylacji w dwóch filtrach

ziemnych znajdujących się na zewnątrz hali. Filtry posiadają wkład kompostowy z 25% domieszką rozdrobnionych gałęzi.

Po 24 godzinach następuje wysyp zawartości bębnow przez otwarcie zasuw. W początkowej fazie następuje odsiew zgrubny na sitach o średnicy 8cm, a następnie dokładny na sitach wibracyjnych Liwella o otworach 1,4 cm.

Ponadto przy pomocy trzech elektromagnesów wybierane są ferromagnetyki.

W ostatniej fazie kompost przechodzi przez separator części twardych gdzie oddzielane są elementy ceramiki, szkło, i inne materiały nie będące kompostem tzw. odpad positowy, który wywożony jest na składowisko.

Świeży kompost taśmociągami transportowany jest do zasobnika na polach kompostowych skąd ładowarka rozwozi go, układając w pryzmy.

W pryzmach, przy zachowaniu właściwych warunków wilgotności i napowietrzania za pomocą przerzucarki - BACKHUS, zachodzą procesy dojrzwania kompostu, który trwa od 3 do 6-ciu miesięcy.

W czasie dojrzwania dopełnia się proces fermentacji i mineralizacji składników pochodzenia organicznego oraz następuje całkowite zniszczenie bakterii chorobotwórczych.

Dojrzały kompost odbierany jest w postaci masy nawozowej o konsystencji zbliżonej do torfu z przeznaczeniem na rekultywację terenów zdegradowanych po uprzednim badaniu przez Wojewódzką Stację Sanitarno-Epidemiologiczną. Badania dokonywane są w zakresie bakteriologicznym (bakterie chorobotwórcze), parazytologicznym (pasożyty i ich jaja) oraz fizykochemicznym (w tym zawartość metali ciężkich).

Instytucja ta wydaje również orzeczenie o jego przydatności do celów rekultywacyjnych.

Ze względu na zawartość w kompoście metali ciężkich (zbliżone do wartości granicznych) i szkła, może on być stosowany do celów rekultywacji zdegradowanych terenów przemysłowych, gospodarki leśnej na pogorzeliiskach, urządzania terenów zieleni miejskiej oraz rekultywacji składowisk i dzikich wysypisk. W powyższych przypadkach kompost spełnia właściwie swoje zadanie. Poprawia strukturę oraz żyzność gleby poprzez stabilizowanie wilgoci, wzbogaca w mikro i makro elementy. Tworzy właściwy klimat glebowy poprzez poprawę stosunków powietrznych, wodnych, cieplnych, intensyfikuje rozwój mikroflory oraz fauny glebowej.

Dzięki właściwym działaniom w zakresie zagospodarowywania odpadów komunalnych zmniejsza się zapotrzebowanie na nowe tereny pod składowiska. Przez kompostowanie zyskuje się cenny materiał do rekultywacji i wzbogaca tereny zdegradowane jakimi są hałdy pogórnice oraz pohutnicze w wartościowy materiał organiczny.

2.4. Zatrudnienie

Przy procesie kompostowania zatrudnionych jest 17 osób przy pracy na jedną zmianę i zastosowaniu dni ustawowo wolnych.

2. 5. Sprzęt do obsługi procesu

Do obsługi samego procesu jak i instalacji do kompostowania używany jest następujący sprzęt:

- Ładowarka Ł-34,
- Maszyna do pielęgnacji przyzmu kompostu firmy BACKCHUS,
- Samochód Volvo z zestawem transportowym 64 m³ do wywozu balastu,
- Samochód Volvo kontenerowy na kontenery 36 m³ do wywozu balastu,

3. EFEKTY EKOLOGICZNO-EKONOMICZNE

Do głównych efektów ekologicznych należy zaliczyć:

- mniejsza ilość odpadów, która trafia na składowisko a zatem przedłużenie jego żywotności,
- zmniejszone zapotrzebowanie na nowe tereny pod składowiska
- pozyskanie wartościowego materiału do rekultywacji
- możliwość wzbogacenia terenów zdegradowanych jakimi są hałdy pogórnice oraz pohutnicze w wartościowy materiał organiczny.

Obliczenie efektów ekonomicznych jest bardzo proste, gdyż do kompostowni dostarcza się 60% odpadów komunalnych zebranych w mieście z czego w procesie technologicznym odpad komunalny pozbawiany jest wagowo około 45% całej masy wsadowej. Czyli cztery lata funkcjonowania kompostowni pozwala wydłużyć czas eksploatacji składowiska o jeden rok dla miasta Katowice.

W tym konkretnym przypadku są to zaoszczędzone pieniądze w wysokości rzędu 4,2 mln. złotych, stanowiące koszt budowy części wysypiska, pozwalającą na składowanie odpadów przez 1 rok.

W powyższą kwotę nie zostały wliczone koszty eksploatacji (w tym odcieki), rekultywacji, odgazowania i zakupu nowego terenu.

Przeprowadzone badania wykazały, że balast (odpad positowy) wydzielony w procesie kompostowania jest pozbawiony elementów organiki, znacznej ilości wody i może stanowić wysoko energetyczny materiał wsadowy dla spalarni odpadów. Czyli jest możliwy do zrobienia kolejny krok w minimalizację ilości odpadów przeznaczonych do składowania.

Zyski o których mówię są zyskami społecznymi wprowadzić do wyliczenia ale nie znajdujące pozytywnego odzwierciedlenia w rachunku ekonomicznym naszej firmy zajmujących się tym zagadnieniem, w układzie gry rynkowej.

Trudno mówić w tym przypadku o efektach ekonomicznych ponieważ wszyscy pracujący w tej branży, stosując w ramach swojej działalności KOMPOSTOWANIE doskonale wiedzą, że są to tylko duże koszty przy niewielkich przychodach ze sprzedaży kompostu. Przychody z tego tytułu w żaden sposób nie pokryją bo nie mogą pokryć poniesionych kosztów utylizacji metodą kompostowania.

Należy również stwierdzić, że popyt na wyprodukowany kompost jest mały w stosunku do potrzeb i ilości terenów zdegradowanych wymagających rekultywacji.

W najlepszej sytuacji są firmy, którym koszty związane z procesem kompostowania finansuje gmina. Do tych szczęśliwców MPGK Katowice niestety nie należy. Nie należy się również łudzić tym, że poszczególne firmy rozwiążą problem kosztów we

własnym zakresie. Moda na ekologię i szczytne proekologiczne hasła nie ułatwiają tematu ponieważ tak jak każda akcja wywołuje reakcję, tak wszystkie te działania wymagają celowych środków finansowych.

4. PROBLEMY EKSPLOATACYJNE

4.1. Technologia i urządzenia zachodnie

Zastosowane urządzenia produkcji austriackiej firmy M-U-T jakkolwiek bardzo trwałe to i tak wymagają remontów oraz wymiany poszczególnych elementów. Wiąże się to z całą procedurą celną przy sprowadzeniu z zagranicy. Ponadto części sprowadzane są kilkakrotnie droższe od podobnych w kraju a zastosowanie zamienników krajowych wiąże się z wykonaniem jednostkowym czyli też jest kosztowne.

4.2. Zmiana morfologii odpadów

Na przestrzeni ostatnich 10 -ciu lat obserwuje się zmianę morfologii odpadów komunalnych. Zmiana ta wiąże się ze wzrostem spożycia produktów wstępnie przetworzonych, produktów dodatkowo opakowanych, wejściem na rynek opakowań typu PET oraz wszelkiego rodzaju kartoników i puszek w których rozprowadzane są napoje. Istotny wpływ na morfologię odpadów mają także wszelkiego rodzaju folie, reklamówki, siatki i tym podobne jednorazowe opakowania z tworzyw sztucznych. Wszystkie te ułatwienia w zakresie opakowań tj. produkcyjne, handlowe oraz cywilizacyjne powodują wzrost ilości odpadów oraz zwiększony udział objętościowych materiałów odpadowych. Efektem tego jest zmniejszenie się ciężaru właściwego 1 m^3 odpadów komunalnych prawie o 33%. na przestrzeni ostatnich 10-ciu lat.

Niebagatelny wpływ na zmniejszenie ciężaru właściwego odpadów ma przechodzenie gospodarstw domowych z pieców opalanych węglem (gdzie część odpadów była palona) na bardziej ekologiczny sposób ogrzewania z elektrociepłowni, gazem lub *energią elektryczną*.

4.3. Temperatura zewnętrzna

Jednym z wielu problemów eksploatacyjnych jest temperatura otoczenia. Wynika stąd problem okresu zimowego gdy temperatury otoczenia spadają w okolice 0°C , wtedy procesy w bębnach biostabilizatora zostają zahamowane i czas przebywania w nich odpadów wydłuża się nawet do 72 godzin.

Nadmienić tu należy, że warunkiem bezwzględny w procesie kompostowania jest wytworzenie przez bakterie mezofilne i termofilne temperatury 55 do 60°C . Jest to temperatura gwarantująca higienizację, homogenizację kompostu oraz to że zostaną unieszkodliwione wszelkie bakterie chorobotwórcze we wstępnej fazie kompostowania.

4.4. Walka o odpady

W ostatnich latach, w obrębie Katowic powstało kilka wysypisk komercyjnych, które z chęci zysku utrzymują ceny na prawie nie zmienionym poziomie a zachodzące zmiany

są bardziej kosmetyką dla utrzymania takiego dostawcy jak MPGK Katowice. Wydaje się, że ceny utrzymują się na poziomie minimalnej opłacalności od 45 do 60 zł/tonę.

4.5. Czas eksploatacji (10 lat)

Z upływem czasu eksploatacji urządzeń kompostowni jest rzeczą naturalną, że występuje ich znaczna awaryjność. Powoduje to dodatkowe, znaczące koszty eksploatacyjne.

4.6. Lokalizacja obiektu

Jednym z podstawowych problemów związanych z eksploatacją takiego obiektu jak kompostownia niebagatelne znaczenie ma jej lokalizacja.

W przypadku katowickiej kompostowni jej historia również odnotowała przypadki protestów i interwencji okolicznych mieszkańców.

4.7. Zastosowanie polskich przenośników taśmowych

Część instalacji do kompostowania została wyposażona w przenośniki taśmowe polskiej konstrukcji, które miały zastosowanie w przemyśle górnictwym, ale nie do końca sprawdzają się przy takim materiale, jakim jest odpad komunalny czy kompost. Zastosowanie krajowych zamienników taśmociągów spowodowało problem z utrzymaniem czystości i dodatkowe zatrudnienie osób do jej utrzymania.

4.8. Jakość odpadów

Częstymi przypadkami są sytuacje, kiedy to trafiają do kompostowni wraz z odpadami komunalnymi odpady wielkogabarytowe, taśmy komputerowe, liny, sznury, druty oraz inne powodujące problemy eksploatacyjne. W efekcie następuje zapychanie lejów zasypowych i obudowanych przenośników taśmowych. Powoduje to tworzenie się kołtunów o wadze od 0.5 do 2.5 t, które blokują wysyp przekompostowanego wstępnie materiału. Stąd w efekcie częste oraz istotne przerwy w procesie kompostowania

4.9. Awarie

W czasie użytkowania instalacji do kompostowania zaistniały tak awarie jak i konieczność wstrzymania procesu kompostowania (całego lub częściowego) z uwagi na przeprowadzane remonty.

Wynikiem tego są pewne wnioski dla projektantów i użytkowników przyszłych instalacji podobnego rodzaju:

- brak możliwości przejścia odpadów z jednego ciągu technologicznego instalacji oczyszczającej na drugi ciąg tej instalacji.
- jeden wspólny przenośnik taśmowy dla balastu grubego dla obydwu biostabilizatorów (powinny być dwa, po jednym dla każdego bębna)
- awaria suwnicy uniemożliwia skuteczny załadunek odpadów a użycie do tego celu ładowarki Ł-34 daje tylko 50 %-ową skuteczność a ponadto powoduje zaleganie

odpadów w bunkrach zasobnikowych bez możliwości ich opróżnienia (powinna być zamontowana druga suwnica).

-brak instalacji wtórnie doczyszczającej kompost z elementów ceramiki, szkła folii itp. zanieczyszczeń. (instalacja musi być wyposażona w takie urządzenie)

5. EFEKTYWNOŚĆ TECHNICZNA

Poniższa tabela przedstawia ilości przyjętych odpadów w poszczególnych latach oraz ważniejsze remonty urządzeń do kompostowania.

	1996	1997	1998	1999
Ilość przyjętych odpadów	43.525 Mg	50.152Mg	43.698Mg	48.327Mg
Remonty główne	biostabilizato r		biostabilizator	suwnica

6. EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA

Od 1997 roku funkcjonują następujące ceny podstawowe, tj.

- przyjęcie na WYSYPISKA odpadów komunalnych: 35,00 do 63,00 zł/tonę,
- przyjęcie na KOMPOSTOWNIĘ odpadów komunalnych: 53,00 zł/tonę,
- cena zbytu kompostu: 38,00 zł/tonę.

Natomiast w tabeli przedstawione zostały podstawowe wskaźniki, które obrazują w pełni sytuację w zakresie ekonomiki działania kompostowni..

Wyraźnie z niej wynika, że koszt utylizacji jednej tony odpadów jest droższy o około 100% w stosunku do cen za deponowanie odpadów na okolicznych składowiskach w rejonie Katowic.

		1996	1997	1998	1999
Koszty utylizacji	tyś.zł	3.142,4	4.077,5	4.310,0	4.874,5
Sprzedaż	tyś.zł	1.009,2	2.611,2	2.437,0	2.632,8
Wynik na działalności	tyś.zł	-2.133,2	-1466,3	-1.873,0	-2.241,7
Koszt utylizacji 1 tony	zł	72,20	81,30	98,63	100,86

7. POZYTYWY

- Możliwość składowania odpadów w czasie kiedy wysypiska są zamknięte tj po godz.15.00 i w dni wolne od pracy
- Utrzymanie zatrudnienia
- Balast z kompostowni spełnia wymogi Unii Europejskiej ponieważ zawiera do 5% części organicznych jeżeli chodzi o możliwości deponowanie na składowiskach.
- Pozyskanie kompostu w ilości około 15 do 18 % wsadu.

- Proekologiczna działalność w zakresie gospodarki odpadami komunalnymi.

8. NEGATYWY

- Uciążliwość zapachowa dla okolicznych mieszkańców w przypadku złej lokalizacji (blisko zabudowań mieszkalnych lub przewaga wiatrów w tym kierunku).
- Duże koszty własne utylizacji jednej tony odpadów

9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Instalacja do kompostowania metodą MUT-DANO jest bardzo kosztowna w utrzymaniu,

Nie pozwala na osiąganie wydajności kontraktowych przy obecnym składzie odpadów,

Dla zwiększenia tonażowej efektywności niezbędnym było by wprowadzenie selektywnej zbiórki biotony ale nie w warunkach finansowania własnego,

Sposób finansowania instalacji do kompostowania musi zostać określony na początku funkcjonowania ,

Koszty eksploatacji powinna ponosić gmina z uwagi na korzyści płynące z oszczędności na budowie wysypiska a firma zarządzająca obiektem pracuje powiedzmy za 10% -towy zysk plus ewentualne wpływy ze sprzedaży kompostu.

Relacje cen za składowanie na wysypiskach i ceny przyjęć na kompostowni są zbyt niskie dla wykazania pozytywnych efektów ekonomicznych takiego obiektu.
Katowice, dnia 20-06-2000r.

Marek WRÓBLEWSKI

MECHANICZNO BIOLOGICZNE UNIESZKODLIWIANIE ODPADÓW W GORZOWIE WLKP

1. WSTĘP

Wola uporządkowania gospodarki odpadami w Gorzowie Wlkp. powstała w 1992 roku. Już w 1993 roku została profesjonalnie opracowana „Strategia gospodarki odpadami komunalnymi dla miasta Gorzowa Wlkp.” oraz rozpoczęto stopniowe jej wdrażanie poprzez :

- powołanie Zakładu Utylizacji Odpadów Spółki z o.o. w celu koordynacji zamierzeń związanych z gospodarką odpadami,
- wdrażanie selektywnej zbiórki odpadów (zakupiono i rozstawiono 80 kompletów pojemników),
- znalezienie terenów przeznaczonych na składowanie i utylizację odpadów,
- wprowadzenie uchwałą Rady Miasta „Regulaminu Gospodarki Odpadami „
- rozpoczęcie procesu wyboru technologii i wykonawcy oraz możliwości finansowania budowy kompostowni.

W 1994 roku ZUO Sp. z o.o. oddaje do eksploatacji kwaterę 1,5 ha składowiska odpadów spełniającego wymogi ochrony środowiska wraz z infrastrukturą techniczną pod budowę planowanego Zakładu.

Pod koniec 1995 roku zapada decyzja o budowie Zakładu Utylizacji Odpadów. Do realizacji zostaje wybrana w ramach konkursu firma Arka Konsorcjum z Poznania w oparciu o technologię firmy ACMB z Paryża.

O wyborze technologii zdecydowała głównie możliwość segregacji odpadów zmieszanych, gwarantująca lepsze efekty przy niskiej skuteczności selektywnej zbiórki odpadów oraz możliwość modułowego uzupełnienia instalacji.

W czerwcu 1998 roku przeprowadzono rozruchy mechaniczne i technologiczne budowanego Zakładu a w grudniu tego roku nastąpił odbiór końcowy inwestycji.

2. PARAMETRY I ROZWIĄZANIA TECHNICZNO - TECHNOLOGICZNE ZAKŁADU UTYLIZACJI ODPADÓW W GORZOWIE – CHRÓŚCIKU

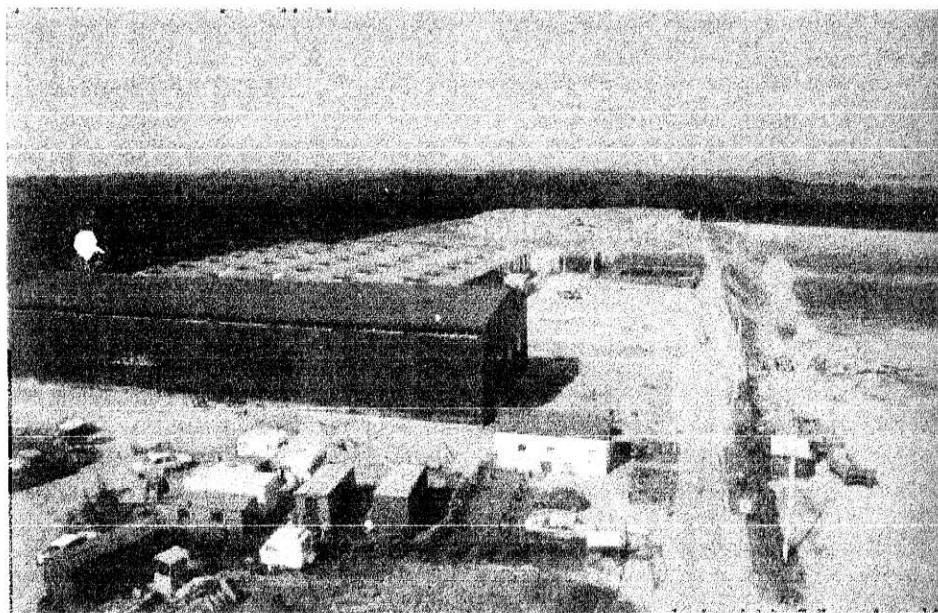
2.1 Dane ogólne:

- a) powierzchnia zabudowy ca 2,5 ha
- b) powierzchnia składowiska ca 1,8 ha,

- c) wydajność zakładu – 40 Mg/a – odpadów komunalnych,
3.200 Mg/a – osadów pościekowych,
- d) zatrudnienie 33 pracowników w systemie dwuzmianowym, w tym :
 - 28 pracowników fizycznych,
 - 5 osób w nadzorze,
- e) moc elektryczna zainstalowana 260 kW
moc zapotrzebowana 208 kW,
- f) woda technologiczna – ca 2 m³ / d ,
- g) koszt inwestycji – ca 22 mln PLN.

2.2. Lokalizacja i zagospodarowanie przestrzenne

Zakład zlokalizowany jest na terenie istniejącego składowiska odpadów komunalnych w granicach miasta Gorzowa w odległości ca 1 km od zabudowań w miejscowości Chrościk.



Rys. 1 Widok ogólny Zakładu

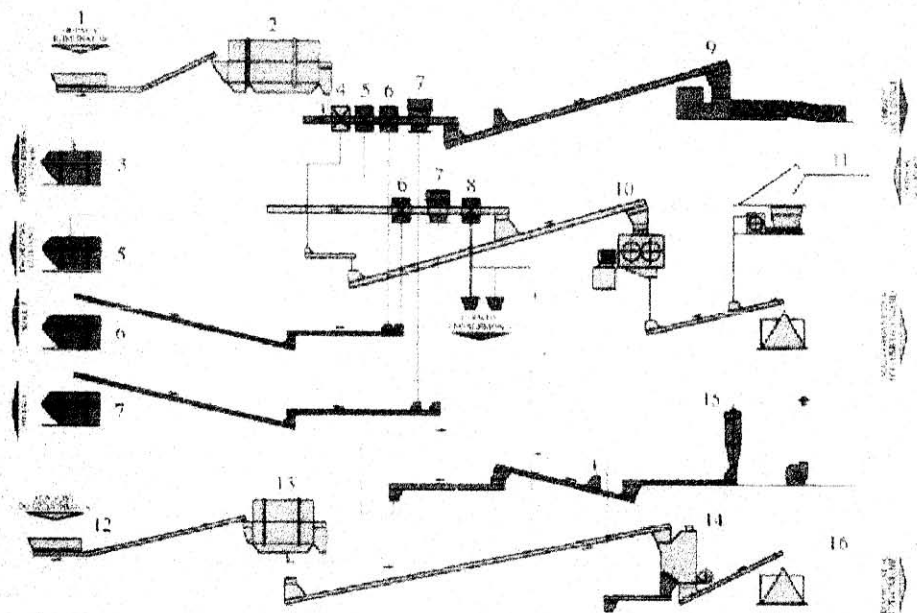
Zagospodarowanie przestrzenne Zakładu nawiązano do istniejącej zabudowy składowiska. Podstawowe obiekty Zakładu to :

- waga samochodowa ,
- hala przyjęć i obróbki odpadów,
- wiata do kompostowania,
- plac dojrzewania i dystrybucji gotowego kompostu,
- wiata z linią do doczyszczania i rozdrabniania surowców wtórnych,
- kwatery składowania odpadów balastowych oraz pełna infrastruktura techniczna dla potrzeb Zakładu.

2.3 Charakterystyka technologii Zakładu

Technologia utylizacji odpadów w gorzowskim zakładzie obejmuje procesy:

- segregacji na odpady organiczne, surowcowe i balastowe oraz odpady niebezpieczne ze strumienia odpadów komunalnych ,
- przygotowanie masy organicznej w pryzmach napowietrzanych ,
- uzdatnianie kompostu,
- belowanie odpadów balastowych



Rys. 2. Schemat technologiczny Zakładu

Opis podstawowych operacji technologicznych :

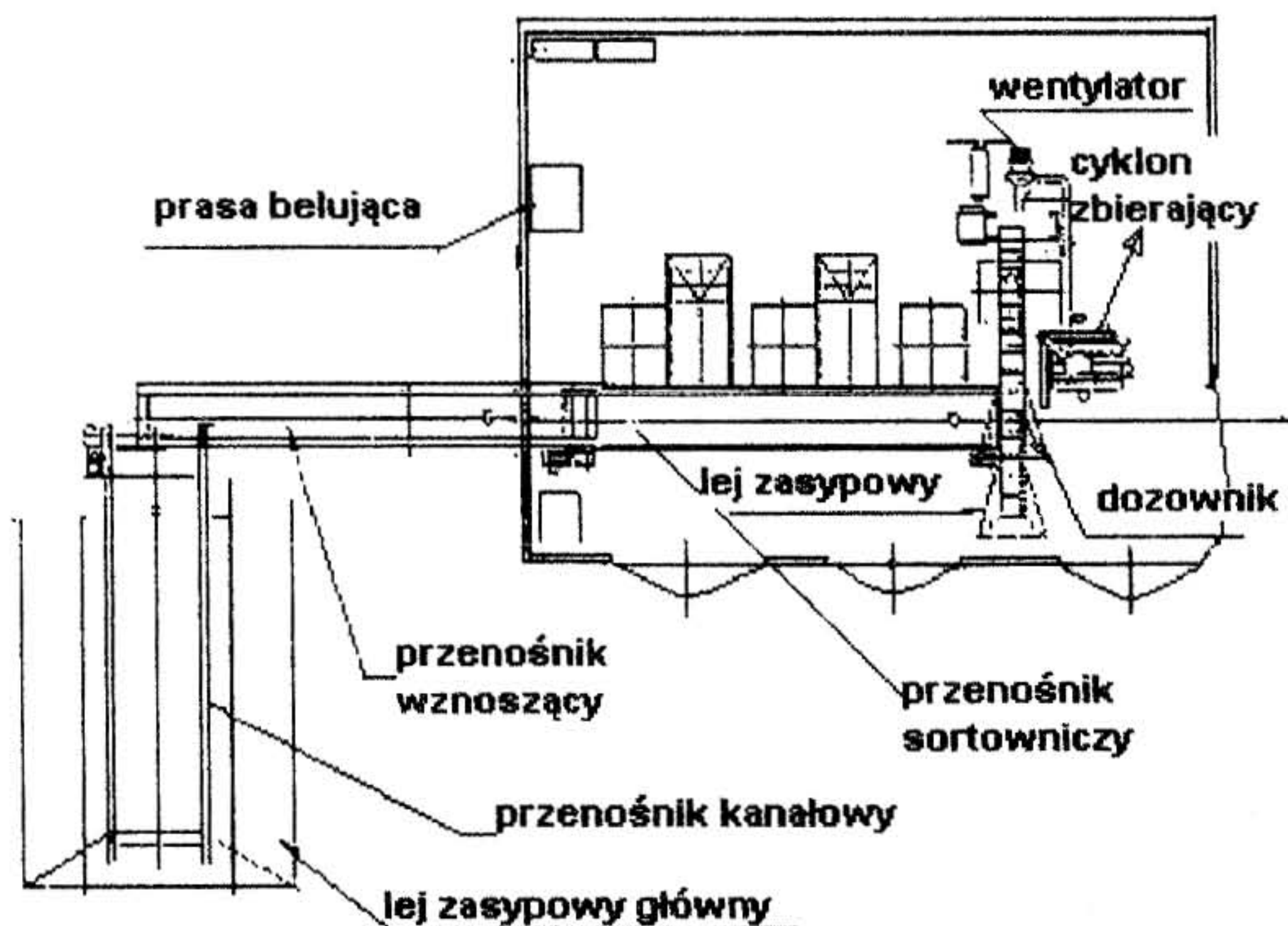
- ważenie , rejestracja, archiwizacja,
- wyładunek i załadunek na taśmę linii segregacji (1),
- segregacja mechaniczna i ręczna z podziałem na strumienie (2),
 - odpady mineralne o frakcji do 20 mm, kierowane na składowisko (3),
 - surowce wtórne (metal, szkło, tworzywa) (5,6,7),
 - odpady organiczne, kierowane do kompostowania (4),
 - odpady nieorganiczne, kierowane na składowisko,
 - odpady problemowe(8).

- zagęszczaniu na prasie (9) wysegregowanych odpadów balastowych w bele do składowania,
- rozdrabnianie wysegregowanych odpadów organicznych (10),
- mieszanie wysegregowanych odpadów organicznych z osadami ściekowymi (11),
- kompostowanie masy organicznej w wiacie, przez okres 4 – 6 tygodni,
- uszlachetnianie kompostu,
 - sortowanie w sicie bębnowym (13)
 - oczyszczanie mechaniczne na stole wibracyjnym z oddzieleniem drobnych elementów jak szkło, kamienie, ceramika itp.(14)
 - oczyszczanie pneumatyczne celem oddzielenia frakcji lotnych (15).

Tak oczyszczony kompost składowany jest na placu magazynowym w celu dojrzwania i dystrybucji (16).

2.4. Linia do doczyszczania i rozdrabniania surowców wtórnych

W celu prawidłowego przygotowania do sprzedaży surowców wtórnych uzyskanych z selektywnej zbiórki odpadów oraz wysegregowanych w zakładzie w sierpniu 2000 roku uruchomiono linię do doczyszczania i rozdrabniania surowców wtórnych, głównie tworzyw sztucznych i puszek aluminiowych.



Rys.3. Schemat technologiczny linii do doczyszczania i rozdrabniania surowców wtórnych.

Opis linii : linia do oczyszczania i rozdrabniania surowców wtórnych o wydajności 2,5 tys. ton rocznie przy pracy dwuzmianowej. Dla jednej zmiany zatrudnienie wynosi trzech pracowników. Podstawowym surowcem podlegającym obróbce będą tworzywa

sztuczne które po ręcznym oczyszczeniu i posegregowaniu zostaną rozdrobnione i zapakowane w worki typu „big-bag”. Linia posiada układ umożliwiający oddzielną pracę urządzeń w trybie sortowania i rozdrabniania.

2.5. Produkty utylizacji

Końcowymi produktami utylizacji dowożonych do Zakładu odpadów komunalnych i osadów ściekowych są :

- surowce wtórne,
- uszlachetniony, wysokiej jakości kompost,
- odpady nieorganiczne (resztowe), przeznaczone do składowania.

Efekty uzyskiwane w zakładzie w pierwszym półroczu 2000 r. :

Przy miesięcznym przerobie średnio ca 3200 ton odpadów komunalnych uzyskano przeciętnie:

- szkło 40 ton (1,25 %),
- metale żelazne 48 ton (1,5 %),
- aluminium 2,2 tony,
- drewno opałowe ca 8 ton,
- odpady niebezpieczne (głównie akumulatory i baterie) ca 0,5 tony,
- kompost gotowy 700 – 800 ton (21 – 25 %),
- odpady balastowe do składowania ca 1750 ton (55 %),
- odsiew z sita bębnowego < 20 mm i z linii doczyszczania kompostu – przeznaczony na przesypki na składowisku ca 350 ton (11 %).

Wysegregowany papier kierowany jest do kompostowania. Nie odzyskiwano tworzyw sztucznych z uwagi na brak możliwości technicznych przygotowania ich do sprzedaży.

3. ZAMIERZENIA INWESTYCYJNE NA NAJBLIŻSZY OKRES.

3.1. „ Centrum Recyklingu odpadów budowlanych „

Technologia zakłada selektywne gromadzenie odpadów budowlanych na pow. ca 4,4 ha. Po zebraniu ca 10 – 15 tys. ton przerób za pomocą sprzętu mobilnego i sprzedaż uzyskanych surowców obecnie jest w trakcie realizacji. W roku 2001 planuje się dostawienie modułu do recyklingu odpadów gabarytowych.

3.2. Linia do doczyszczania szkła.

Technologia zakłada załadunek ładowarką do zasobnika, dwa stanowiska dla sortowaczy przy przenośniku poziomym oraz przenośnik podający do boksu na szkło czyste. Planowany termin realizacji 2001 rok.

3.3. Rozszerzenie selektywnej zbiórki odpadów

W roku 2000 w Gorzowie Wlkp. reaktywowano selektywną zbiórkę odpadów, która załamała się w 1998 r. Obecnie obejmuje ona ca 1/3 zasobów mieszkaniowych (dwie największe spółdzielnie mieszkaniowe), gdzie rozstawionych jest 50 kompletów pojemników. Planowany termin objęcia selektywną zbiórką terenu całego miasta – sukcesywnie do połowy 2002 r.

4. PODSUMOWANIE

- 4.1. Uzyskiwane na dzień dzisiejszy efekty w zakładzie w Chróściku pozwalają na zmniejszenie o ca 35 % masy deponowanych na składowisku odpadów komunalnych. Uwzględniając prasowanie resztek balastowych oraz wykorzystywanie materiału wysegregowanego z odpadów na przesypywanie warstw izolacyjnych (zamiast pozyskiwanego materiału z zewnątrz) pozwala to na ca 2,5 krotne wydłużenie czasu eksploatacji składowiska w stosunku do tradycyjnej metody deponowania odpadów z zagęszczaniem kompaktorem.
- 4.2. Składowane odpady w formie kostek zawierają niewielkie ilości organiki, co powoduje zmniejszenie ładunków zanieczyszczeń w odciekach oraz praktycznie eliminuje zagrożenie samozapłonem na składowisku. Prasowanie odpadów również znacznie ogranicza rozwiewanie lotnych frakcji, a tym samym zmniejsza się stopień uciążliwości dla najbliższego otoczenia.
- 4.3. Doświadczenia miasta Gorzowa Wlkp. wykazały również, że można z odpadów komunalnych zmieszanych uzyskać dobrej jakości kompost mieszczący się w kl.I lub II wg BN – 899103 – 09, całkowicie bezpieczny pod względem sanitarnym, o dobrych parametrach nawozowych i poprawiający strukturę gleby. Oprócz tradycyjnych kierunków wykorzystywania kompostu na tereny zielone, rekultywację składowisk itp., prowadzimy badania nad bezpośrednim rolniczym zastosowaniem kompostu na polach Instytutu Hodowli Roślin w Małyszynie.
- 4.4. Tego typu zakład , jak w Gorzowie powinien być jednym z ogniw całej gospodarki odpadami , obejmującej również:
 - selektywną zbiórkę (docelowo z wysegregowaniem odpadów biologicznych),
 - osobne zagospodarowanie odpadów gabarytowych, budowlanych i problemowych,
 - docelowo termiczną utylizację balastu.
- 4.5. Stworzenie kompleksowego systemu gospodarki odpadami komunalnymi jest procesem wieloletnim, wymagającym współdziałania wielu podmiotów i stosunkowo wysokich nakładów. Obecnie dodatkowe problemy powoduje brak spójnego, precyzyjnego prawodawstwa oraz nierentowność selektywnej zbiórki odpadów.

Tadeusz WOLNY

OPIS TECHNOLOGII KOMPOSTOWANIA ORAZ WYNIKAJĄCE WNIOSKI NA PRZYKŁADZIE KONTENEROWEJ KOMPOSTOWNI TYPU „KNEER” W MPGK W ŚWIĘTOCHŁOWICACH SP Z O.O.

1. STAN GOSPODARKI ODPADAMI I ISTNIEJĄCEJ INFRASTRUKTURY

Miasto Świętochłowice położone jest w odległości 9 km od Katowic, w centralnej części Górnego Śląska. Świętochłowice stanowią jeden z najbardziej zaludnionych terenów w Europie. Obszar około 13,22 km² zamieszkuje przeszło 60 tys. osób, co stanowi około 4.600 osób na km².

1. 1. Charakterystyka składowiska odpadów i infrastruktury

Składowisko odpadów zlokalizowane jest na terenach hałdy Huty „Florian” leżących w granicach administracyjnych miasta między stawami „Edward” i „Marcin”.

Z terenem składowiska graniczą od strony północnej hałdy i tereny przemysłowe huty cynku „Silesia”. Stronę północno-zachodnią stanowi granica z Rudą Śląską – dzielnica Chebzie. Najbliższa zabudowa mieszkalna na terenie Rudy Śląskiej znajduje się w odległości 1,2 km od granicy składowiska.

Po stronie zachodniej znajdują się tereny przemysłowe Huty „Pokój” w Rudzie Śląskiej. Od strony południowo-zachodniej znajdują się hałdy przemysłowe i stawy. Najbliższa zabudowa mieszkalna usytuowana jest w odległości 900 m od zewnętrznej granicy terenu składowiska. Od strony południowej składowiska zlokalizowane są hałdy hutnicze oraz stawy.

Od strony południowo-wschodniej zlokalizowana jest hałda przemysłowa. W tym samym kierunku w odległości około 900 m od hałdy znajduje się zabudowa mieszkalna oraz Szkoła Podstawowa Nr 7 w Świętochłowicach.

Teren składowiska od strony wschodniej w odległości 60 m graniczy z ogródkami działkowymi.

Wraz z budową kolejnych kwater na składowisku powstały:

- budynek technologiczny,
- pomieszczenia warsztatowe wraz z halą,
- boksy magazynowe do składowania wyselekcjonowanych u źródła surowców wtórnych,
- obiekty niezbędne do eksploatacji składowiska odpadów komunalnych i innych niż komunalne.

W mieście powstaje rocznie 13.000 Mg odpadów organicznych oraz 40.000 m³ osadów z oczyszczalni „Klimzowiec” dla miast Chorzowa i Świętochłowic.

Kompostowanie w systemie „KNEER” jest elementem programu zintegrowanego systemu gospodarki odpadami realizowanego przez Urząd Miasta i MPGK w Świętochłowicach Sp. z o.o. w oparciu o:

- powstałe w 1993 r. składowisko odpadów,
- Master Plan gospodarki odpadami dla województwa katowickiego sporządzony w 1995 r.,
- Master Plan ochrony środowiska dla miasta Świętochłowice opracowany w 1996 r.,
- działania prowadzone przez MPGK w Świętochłowicach Sp. z o.o. w zakresie wprowadzania selekcji i segregacji odpadów oraz gospodarczego wykorzystywania odpadów przy rekultywacji hałd górniczych i hutniczych;
- prowadzony od 1996 roku przez MPGK w Świętochłowicach Sp. z o.o. program edukacji ekologicznej dzieci i młodzieży w szkołach.

2. SEGREGACJA ODPADÓW

2.1. Centra segregacji u źródła

Odpady komunalne w Świętochłowicach są zbierane przez Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Świętochłowicach Sp. z o.o. Firma розміściła w mieście 270 kontenerów metalowych o pojemności 1.100 l każdy, w zestawach po dwa oraz 14 zestawów kontenerów typu „IGLO” przeznaczonych do selektywnej zbiórki u źródła szkła i papieru. Większość zestawów znajduje się na obszarze o dużej gęstości zaludnienia, a więc na osiedlach o zabudowie wysokiej i w centrum miasta.

2.2. Odbiór odpadów komunalnych

MPGK w Świętochłowicach Sp. z o.o. odbiera odpady komunalne z terenu całego miasta: od mieszkańców, instytucji, handlu, szpitali, szkół, zakładów przemysłowych. Wszystkie odpady - komunalne odpady stałe (z domów jednorodzinnych, z budynków wielorodzinnych, handlu, instytucji, szpitali, przemysłu), odpady z rozbiórek i prac ziemnych, odpady wielkogabarytowe oraz w ostatnim czasie trawa, wycinki drzew i krzewów, liście – są deponowane na komunalnym składowisku odpadów.

Na odpady wielkogabarytowe przedsiębiorstwo dysponuje 60 kontenerami KP-7. Odpady komunalne są zbierane w kontenerach o rozmiarach: 1.100 l oraz 110 l. Na materiały pochodzące z rozbiórek MPGK dysponuje 34 kontenerami typu KP-4,5.

3. KOMPOSTOWANIE

3.1. Charakterystyka procesu kompostowania

Największymi zagrożeniami związanymi z każdym składowiskiem odpadów są: powstawanie odcieków i biogazów. Oba te elementy stanowią największe ryzyko dla środowiska i ludzkiego zdrowia.

Ocieki stanowią duże niebezpieczeństwo, szczególnie, gdy zbiornik znajduje się w bliskim sąsiedztwie ujęć wody.

Gazy pochodzące ze składowiska odpadów zawierają głównie metan i dwutlenek węgla oraz niewielką ilość gazów nie metanowych. Metan może spowodować wybuch, jeżeli jego stężenie w powietrzu wynosi od 5 do 15%. Metan może migrować ze składowiska i wnikać w najbliższe zabudowania. Udokumentowano, że metan migruje nawet na odległość 1 kilometra od obszaru składowiska.

Metan i dwutlenek węgla to dwa najważniejsze czynniki mające wpływ na globalne ocieplenie. Wpływ metanu na ten efekt jest 25 razy większy niż dwutlenku węgla.

Ze składowisk odpadów pochodzi 15% ogólnej emisji metanu do atmosfery ziemskiej, na skutek dekompozycji składników organicznych odpadów składowanych.

Kompostowanie odpadów organicznych eliminuje biologiczną aktywność na składowisku, co wpływa na znaczne zmniejszenie powstawania odcieków i generowania się gazów.

Dobrze przystosowany kompost w postaci humusu wprowadza próchnicę do gleby. Zdekompostowane substancje organiczne, jako składniki odżywcze roślin, biorą udział w sposób pośredni i bezpośredni w wegetacji roślin. Właściwości chemiczne, fizyczne i biologiczne kompostu poprawiają właściwości przepływu gleby, jej napowietrzanie strukturę gleby i zdolność zatrzymywania wody. Dobrze przygotowany kompost wiąże składniki odżywcze i zapobiega ich wypłukiwaniu z gleby, jak również poprawia poziom pH.

Wpływ kompostu na środowisko naturalne również jest przekonujący:

- kompostowanie przekształca odpady organiczne kierowane na składowisko odpadów w substancje produktywne w rolnictwie i ogrodnictwie;
- redukuje emisję gazów wywołujących efekt cieplarniany zatrzymując węgiel w glebie;
- redukuje emisję metanu i tlenków azotu;
- redukuje zatrucie azotem wód gruntowych.

Badania naukowe przeprowadzone między innymi w Kalifornii i w Niemczech dowiodły, że stosowanie kompostu poprawiło plony poprzez lepsze wykorzystanie azotu znajdującego się w glebie, jak również poprawiło jakość owoców, wydłużyło czas ich składowania i obniżyło ilość azotanów w pomidorach. Ponadto stosowanie kompostu w ilości 50 Mg na $\frac{1}{4}$ ha w ciągu roku – znacznie zwiększyło odporność gleby na wypłukiwanie substancji odżywczych.

Kierowanie odpadów organicznych do procesu kompostowania zmniejsza koszty składowania odpadów na składowisku. W większości przypadków produkcja kompostu z tej samej ilości odpadów organicznych jest tańsza niż opłaty za składowanie odpadów na składowisku; jednakże przygotowanie terenu, zakup maszyn, uzyskanie niezbędnych uzgodnień wymaga czasu i nakładów finansowych, powinno, więc być brane pod uwagę przy tworzeniu systemu kompostowania.

Wielu rolników i producentów kompostu przekonało się, że dodatni wynik finansowy uzyskuje się w przypadku, gdy stworzony przez nich system:

- produkuje kompost z minimalnym nakładem sprzętu i pracy ludzkiej;
- zatrzymuje odór, aby nie powodować konfliktów z sąsiadami;
- zatrzymuje maksimum substancji odżywczych, które mogą być wykorzystane przez rośliny.

Opracowano cały szereg komercyjnych sposobów kompostowania. Generalnie dzielą się one na metody przy użyciu reaktora oraz bez jego użycia.

Systemy bez użycia reaktora (otwarte):

- pryzmowe – przewracane,
- pryzmowe statyczne – wymuszone napowietrzanie,
- naturalnie (pasywnie) napowietrzane pryzmy.

Systemy z użyciem reaktora:

- pionowy przepływ,
- poziomy przepływ,
- bezprzepływowe (kontenery kompostowe).

3.2. Bezprzepływowe kompostowanie

Kompostowanie kontenerowe odbywa się w napowietrzanych kontenerach, w których kontrola odorów odbywa się poprzez filtr biologiczny zainstalowany dla całego systemu. Pełna kontrola procesów odbywa się dzięki zainstalowaniu aparatury kontrolno-pomiarowej i komputerowemu sterowaniu procesem. Nadaje się całkowicie do kompostowania odpadów częściowo zgniłych, o bardzo nieprzyjemnym zapachu; współpracuje z innymi systemami np. w połączeniu z systemem napowietrzanych pryzm, jako uzupełnienie procesu.

Producentami tych urządzeń są: Horstmann (Niemcy) oraz Green Mountain Technologies (USA).

3.3. Kompostowanie kontenerowe

Poprzez kontenerowe urządzenia do kompostowania optymalizuje się za pomocą środków technicznych proces biologiczny zachodzący w naturze, dzięki czemu poszczególne fazy procesu kompostowania ulegają znacznemu skróceniu. Kierowanie procesem odbywa się komputerowo, bez udziału obsługi. Modułarna budowa systemu umożliwia instalowanie urządzeń o przeciętnej wydajności od 2.000 Mg do 24.000 Mg rocznie.

3.3.1. Opis technologii i urządzeń

Celem technologii jest przerób organicznych części składowych odpadów przemysłowych i domowych, osadów z oczyszczalni ścieków, odpadów zielonych oraz pozostałości po przycince krzewów, na wysokowartościowy produkt humusowy.

Kompostowanie zaczyna się od przygotowania, segregacji i homogenizacji dostarczonego materiału. Usuwa się materiały szkodliwe. Odpady zielone oraz pozostałości po przycince krzewów zostają rozdrobnione i poddane mieszaniu z odpadami szybko zgniwanymi i o silnym nieprzyjemnym zapachu. Stopień automatyzacji tego etapu technologicznego może być dowolnie wybrany przez użytkownika. Jest on ustalany po rozważeniu kwestii opłacalności i w zależności od wydajności całkowitej urządzenia.

Po zakończeniu przygotowania kontenery są napełniane materiałem przeznaczonym do kompostowania. Urządzenie do przesuwania kontenerów połączone z dostarczaniem materiału zależnie od stanu napełniania kontenerów zapewnia optymalny przebieg

procesu. Napelnione kontenery zostają przyjęte przez wywrotkę i przekazane do sekcji intensywnego humusowania, gdzie zostają podłączone do systemu napowietrzającego i odpowietrzającego. Wprowadzone sterowanie komputerowe przejmuje nadzór nad procesem kompostowania, którego faza intensywna trwa od 14 do 21 dni.

W zależności od zaopatrzenia na tlen, do materiału doprowadzane jest – w pełni automatycznie – świeże powietrze, a proces jest procesem aerobowym.

W celu usunięcia przykrego zapachu powstające podczas procesu powietrze wylotowe zostaje przeprowadzane przez filtr biologiczny, a następnie uwolnione do atmosfery. Gromadząca się w czasie procesu woda jest zbierana w specjalnym pojemniku, a następnie powtórnie doprowadzana do kontenera.

Rozkład materiału organicznego w czasie fazy intensywnej procesu kompostowania prowadzi – wraz z temperaturami 55-70°C - do higienizacji materiału.

Świeży kompost powstały w fazie intensywnego procesu kompostowania (stopień shumusowania: II lub III) jest stabilny biologicznie oraz wolny od nieprzyjemnego zapachu. Podczas trwającej 4-6 tygodni fazy kompostowania dodatkowego w pryzmach, kompost osiąga stopień shumusowania: IV lub V.

System wyciągów hakowych daje możliwość prostej obsługi kontenera oraz filtra biologicznego.

3.3.2. Cechy charakterystyczne oraz zalety kompostowania kontenerowego.

- dzięki optymalnemu kształtowaniu procesu kompostowania w ciągu 8-9 tygodni z odpadów biologicznych powstaje pełnowartościowy kompost;
- w wyniku hermetycznego prowadzenia procesu oraz dezodoryzowania odprowadzanego powietrza przez filtr biologiczny, wykluczeniu ulega emisja nieprzyjemnych zapachów do atmosfery;
- małe nakłady transportowe oraz dobre warunki pracy ludzi i maszyn dzięki statycznemu procesowi kompostowania w zamkniętych kontenerach;
- wyeliminowanie dodatkowego zużycia wody w procesach kompostowania intensywnego oraz na pryzmach;
- wysoka biologiczna stabilność, higieniczność oraz wysoka jakość;
- redukcja objętości materiału wsadowego o około 30%;
- sterowanie procesem kompostowania intensywnego za pomocą komputera, włącznie ze świadectwem jakości dla zawartości poszczególnych kontenerów dzięki dokładnemu pomiarowi danych;
- bardzo dobra możliwość dostosowania do zmiennej wydajności oraz do różnej powierzchni dzięki budowie modułowej;
- technologia może być stosowana w małych urządzeniach, jako część już istniejących zakładów oraz przy większych kompostowniach i oczyszczalniach ścieków, jako uzupełnienie systemu podstawowego;
- zmniejszenie zapotrzebowania na miejsce i personel;
- prosta i tania obsługa dzięki użyciu samochodu hakowego.

3.4. Opis kontenerowej technologii kompostowania

Celem technologii jest przerób części składowych odpadów domowych, przemysłowych, osadów z oczyszczalni ścieków, odpadów zielonych oraz pozostałości po przycince krzewów na wysoko wartościowy produkt humusowy.

Wsadem do procesu kompostowania na składowisku odpadów komunalnych w Świętochłowicach są odpady organiczne – osady z oczyszczalni ścieków oraz odpady organiczne pochodzące z terenów zielonych oraz z wycinki drzew i krzewów, liście, trawa. Ograniczenie to wynika z warunków infrastrukturalnych na obszarze składowiska oraz w samym mieście.

Wsad taki nie ulega zagniwaniu (nie poddaje się procesowi fermentacji) w trakcie gromadzenia i transportu, dzięki czemu nie pojawia się odór oraz odcieki na etapie przygotowywania materiału organicznego do kompostowania. W tej sytuacji proces ten rozpoczyna się od przygotowania mieszanki materiału organicznego, składającej się z proporcjonalnie dobranych liści, trawy oraz rozdrobnionego drewna. Rozdrabnianie drewna dokonywane jest za pomocą zrębaka, natomiast mieszanie odpadów oraz załadunek kontenerów – za pomocą ładowarki czołowej.

Po zakończeniu procesu przygotowania, kontenery przekazywane są do sekcji intensywnego kompostowania, gdzie podłącza się je do systemu napowietrzającego i odpowietrzającego.

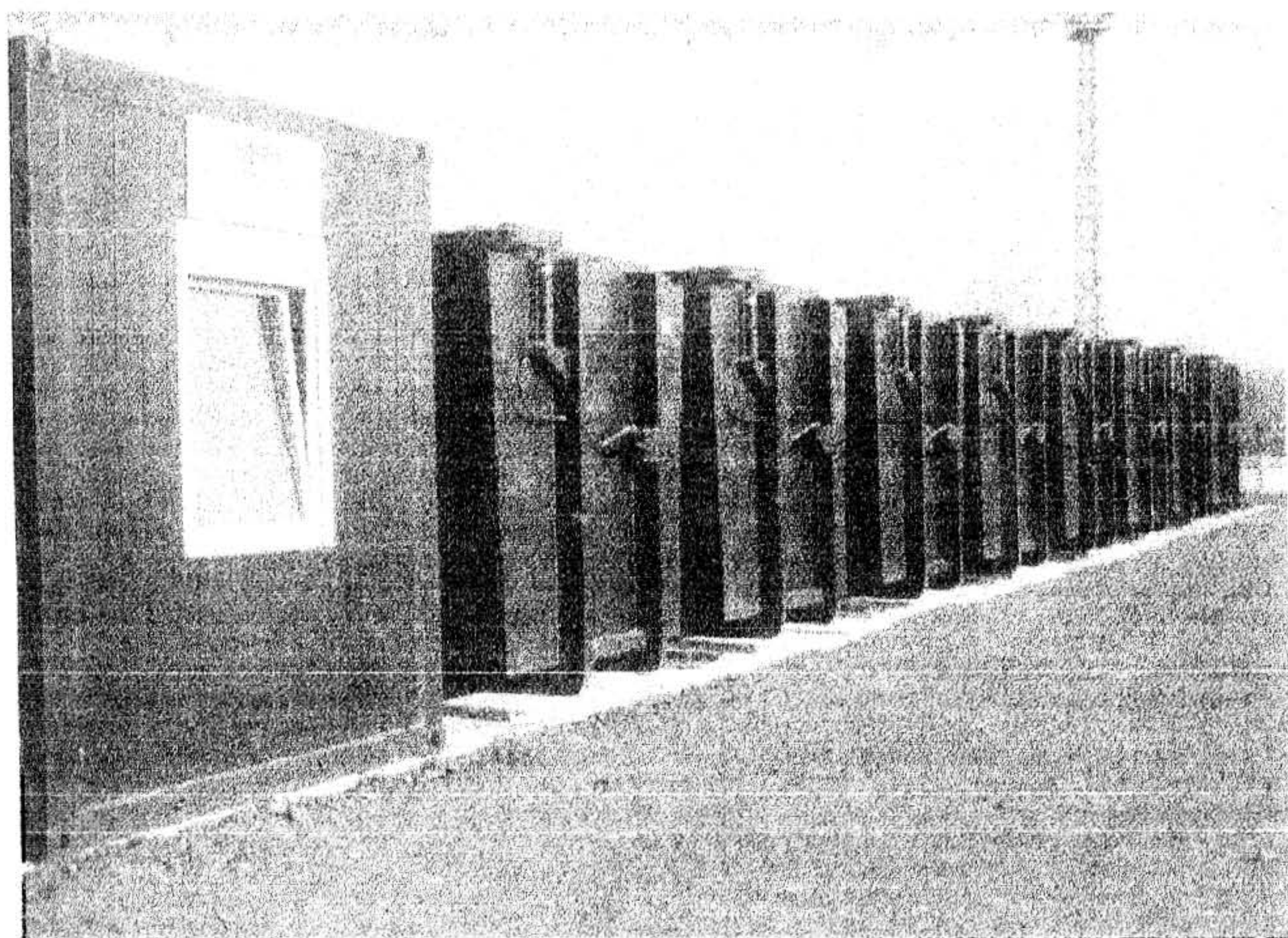
Wprowadzone sterowanie komputerowe przejmuje nadzór nad przebiegiem procesu kompostowania. W efekcie ukończenia fazy intensywnej (po upływie 14-21 dni) uzyskuje się świeży, stabilny biologicznie kompost, po czym opróżnia się kontenery, a powstały materiał usypywany jest w pryzmy, na których następuje faza dojrzewania, trwająca średnio około 4-6 tygodni.

3.4.1. Opis techniczny urządzeń kompostowni kontenerowej „KNEER”

Kontenerowy system kompostowania „KNEER” jest urządzeniem o charakterze modułowym, co umożliwia dostosowanie rocznej wydajności instalacji do indywidualnych potrzeb wynikających z zaawansowania i rozwoju kompleksowego systemu gospodarki odpadami komunalnymi w mieście.

Jeden moduł podstawowy składa się z:

- 8 kontenerów kompostujących,
- 1 kontenera stacji sprężarkowej wraz z systemem rurociągów,
- 1 kontenera administracyjnego wraz z centralą sterowania fazą intensywną ze sterowaniem komputerowym oraz drukarką,
- 1 kontenera z filtrem biologicznym.



Rys. 1 Widok ogólny kompostowni kontenerowej „KNEER” na składowisku odpadów komunalnych w Świętochłowicach

Moduł podstawowy (Rys. 1) osiąga wydajność średnią około 3.000 Mg materiału wsadowego rocznie.

Do centrali sterowania można podłączyć 8 dalszych zespołów kontenerów roboczych, realizując w ten sposób wydajność przeciętną do 24.000 Mg na rok.

Parametry techniczne urządzeń tworzących linię:

Kontener kompostujący / 8 szt.:

- wymiary zewnętrzne:

długość: 6,50 m

szerokość: 2,40 m

wysokość: 2,75 m

- konstrukcja stalowa izolowana termicznie, wyposażona w:

hak główny, zgodny z systemem hakowym wg DIN 30722,

drzwi tylne z centralnym systemem zamykania służące do opróżniania kontenera,

pokrywę górną służącą do napełniania kontenera,

króćce do podłączania systemu na- i odpowietrzania kontenera, obiegu wody technologicznej oraz systemu kontroli przebiegu procesu.

Kontener oczyszczający powietrze odlotowe (biofiltr) / 1 szt.:

- wymiary zewnętrzne:

długość: 6,50 m

szerokość: 2,40 m

wysokość: 2,82 m

- konstrukcja stalowa izolowana termicznie, wyposażona w:
hak główny, zgodny z systemem hakowym wg DIN 30722,
drzwi tylne z centralnym systemem zamykania służące do opróżniania kontenera,
pokrywę górną służącą do napełniania kontenera,
króćce do podłączania systemu napowietrzania i odpowietrzania kontenerów kompostujących.

Kontener stacji wentylatorów / 1 szt.:

- wymiary zewnętrzne:
długość: 3,00 m
szerokość: 2,40 m
wysokość: 2,50 m
- konstrukcja stalowa izolowana termicznie, wyposażona w zintegrowany system pomp i wentylatorów obsługujących kontenery kompostujące.

Kontener zawierający centralę sterowniczą / 1 szt.:

- wymiary zewnętrzne:
długość: 3,00 m
szerokość: 2,40 m
wysokość: 2,50 m
- konstrukcja stalowa izolowana termicznie, wyposażona w:
komputer klasy PC wraz z drukarką,
oprogramowanie nadzorujące – w sposób ciągły i poprawny – przebieg procesu kompostowania w poszczególnych kontenerach kompostujących.

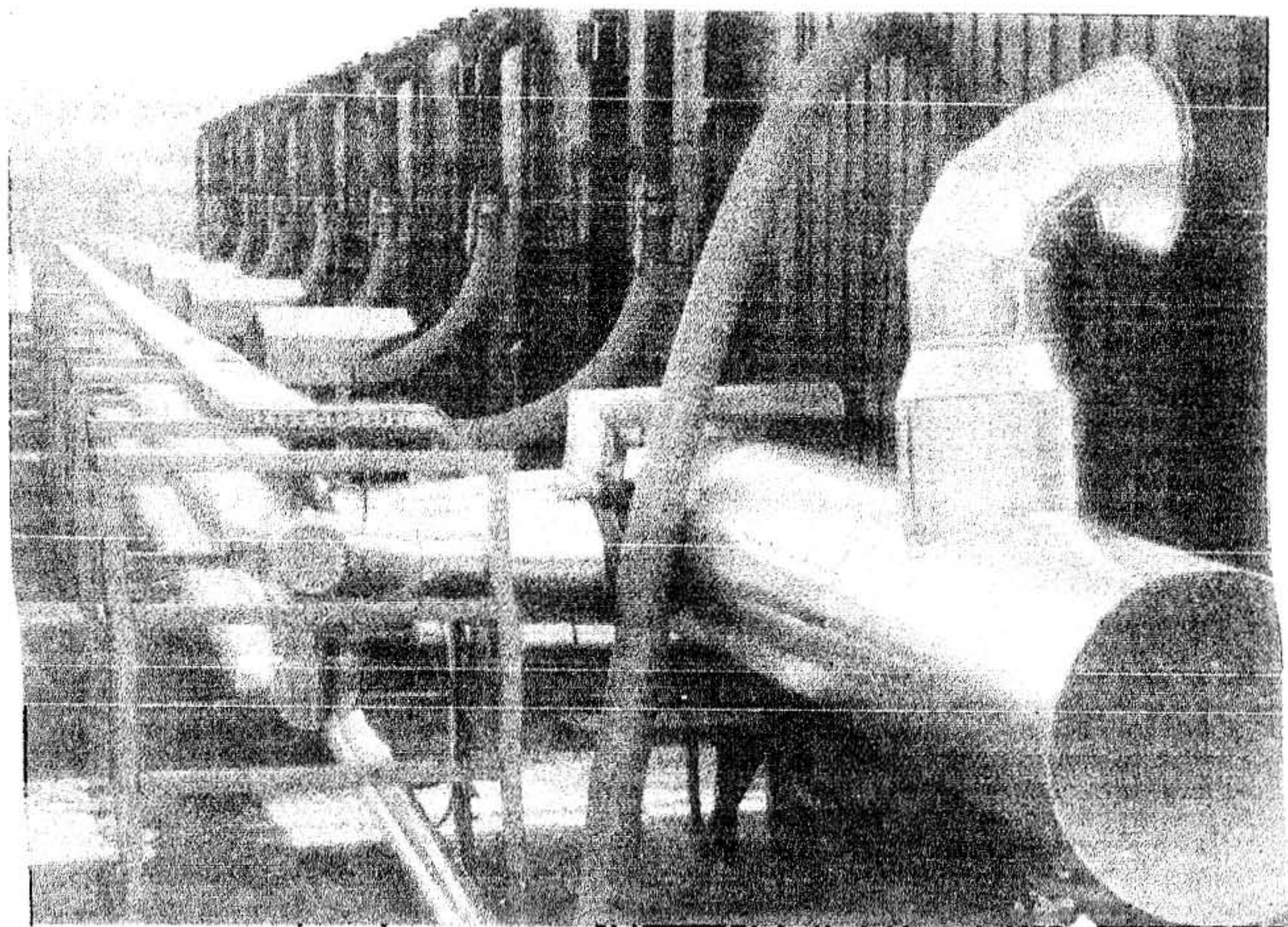
3.5. Zagadnienia ochrony środowiska

W kontenerowym systemie kompostowania „KNEER” zastosowano nowatorskie rozwiązania techniczne i technologiczne, sprawdzone w trakcie eksploatacji gotowych obiektów. Na obecnym poziomie techniki kompostowania system oparty na przedmiotowej technologii zastosowanej przez firmę „Horstmann” – Budowa Urządzeń i Technika Ekologiczna Sp. z o.o. w Wągrowcu – okazał się najbardziej odpowiedni dla warunków polskich.

Kompostowanie kontenerowe prowadzone jest w zamkniętych kontenerach wyposażonych w ażurową podłogę, która umożliwia kontrolowanie procesu napowietrzania, jak również odbiór odcieków, kierowanych w następnej kolejności do procesu kompostowania.

Odbiór oraz ponowne wprowadzanie odcieków prowadzone jest w ramach obiegu zamkniętego, stanowiącego wyposażenie zestawu kontenerowego. Przewody powietrzne podłączone do kontenerów zapewniają kontrolowany proces natleniania oraz odbioru odorów. Zamknięty obieg odcieków oraz zastosowanie biofiltra eliminuje uciążliwości związane z ewentualnym powstawaniem przykrych zapachów, jak również zagrożenia wynikające z możliwości dostania się odcieków do środowiska. Kontenery umieszczone są na powierzchni nieprzepuszczalnej, betonowej – co dodatkowo

uniemożliwia migrację odcieków do wód podziemnych i powierzchniowych w warunkach awaryjnych.



Rys. 2 Widok instalacji napowietrzającej i odwadniającej kompostowni „KNEER”

Zastosowanie tego rodzaju rozwiązań technicznych spowodowało, że system „KNEER” jest najmniej uciążliwy dla środowiska ze wszystkich stosowanych systemów:

- wyselekcjonowane odpady organiczne są dostarczane i gromadzone na obszarze będącym tematem opracowania;
- kompostowanie wyselekcjonowanych odpadów organicznych odbywa się w kontenerach o pojemności 25 m³ każdy;
- w rejonie obiektu nie występuje w podłożu horyzont wodonośny, interesujący pod względem gospodarczym;
- zgodnie z Decyzją Nr 111/93 wydaną przez Wydział Ekologii Urzędu Wojewódzkiego w Katowicach – przeprowadzane są badania czystości wód;
- powietrze z kontenerów ulega całkowitemu oczyszczeniu w filtrze biologicznym stanowiącym integralną część kontenerowego systemu kompostowania; eliminowanie odoru odbywa się w wyniku procesu biotechnologicznego; powietrze wychodzące z obiegu technologicznego spełnia normy dotyczące wartości stężeń substancji zanieczyszczeń w powietrzu, określonym w Załączniku Nr 1 do Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 12 lutego 1990 r. w sprawie ochrony powietrza przed zanieczyszczeniami (Dz. U. Nr 15, poz. 9);

- gleby w bezpośrednim otoczeniu obiektu zanieczyszczone są metalami w stopniu uniemożliwiającym prowadzenie jakiejkolwiek produkcji i roślin konsumpcyjnych i paszowych na tych terenach, zresztą teren hałdy na to nie pozwala;
- omawiana inwestycja nie jest uciążliwa dla środowiska naturalnego pod względem akustycznym; zabudowa mieszkaniowa występuje w znacznej od niej odległości, co powoduje, że poziom dźwięku emitowanego podczas pracy urządzeń nie stanowi dla niego uciążliwości; w obrębie linii ogrodzenia hałas osiąga wielkość 55-60 dB;
- teren obiektu od strony północnej, wschodniej i zachodniej otoczony jest zielenią niską i wysoką,
- samochody dowożące odpady do kompostowni korzystają z istniejącego brodzika odkażającego ich koła, zlokalizowanego na składowisku odpadów.

4. WNIOSKI

Po przeanalizowaniu stanu bieżącego oraz strategii miasta Świętochłowice w zakresie wprowadzonej zintegrowanej gospodarki odpadami, na podstawie zebranych danych można stwierdzić, że:

- budowa infrastruktury składowiska odpadów w Świętochłowicach oraz prowadzone na tymże obiekcie prace modernizacyjne umożliwiają prawidłowy przerób, a tym samym wykorzystanie wyselekcjonowanych odpadów organicznych;
- odpady organiczne z terenu miasta, a zwłaszcza odpady pochodzące z terenów zielonych są sukcesywnie poddawane procesowi kompostowania na terenie składowiska według wskazanej i opisanej technologii;
- posiadając 1 moduł kompostowni kontenerowej „KNEER” niemożliwe jest zagospodarowanie całości odpadów biologicznych z terenu miasta i osadów z oczyszczalni ścieków „Klimzowiec”;
- z uwagi na znaczny stopień zanieczyszczenia aglomeracji śląskiej, bardzo trudno jest osiągnąć kompost I lub II klasy;
- stosunkowo wysokie koszty produkcji kompostu stanowią o jego nieatrakcyjnej cenie na rynku;
- w przyszłych uregulowaniach prawnych w zakresie gospodarki odpadami należy uwzględnić mechanizmy powiązań producenta kompostu z dostawcą odpadów dla zwiększenia efektywności produkcji i ekonomicznego zmniejszenia kosztów związanych z wytwarzaniem kompostu oraz ograniczenia ilości jego wykorzystywania;
- wskazane jest uwzględnienie w projektach różnego typu kompostowni – przyzmożenia i przesiewania gotowego kompostu, dojrzewającego pod zadaszeniem;
- dla zainstalowania kompostowni kontenerowej jest wymagana stosunkowo mała powierzchnia.

5. LITERATURA

- [1] WCI NATCOL Sp. z o.o. j.v.: *Program zintegrowanego systemu zagospodarowania odpadów komunalnych dla miasta Świętochłowice*, Katowice (1997)
- [2] WCI NATCOL Sp. z o.o. j.v.: *Projekt budowlany. Kontenerowy system kompostowania w Świętochłowicach*, Jastrzębie Zdrój (1998)

Tadeusz WOLNY

OCENA MATERIAŁU WSADOWEGO DO KOMPOSTOWANIA W KONTENEROWEJ KOMPOSTOWNI TYPU „KNEER” W MPGK W ŚWIĘTOCHŁOWICACH SP. Z O.O.

1. OPIS TECHNOLOGII KOMPOSTOWANIA KONTENEROWEGO.

Dostarczony materiał jest rozdrabniany, pozbawiany dużych materiałów zakłócających, a następnie mieszany, do momentu uzyskania jednorodnego materiału wejściowego do butwienia intensywnego. Podczas butwienia intensywnego następuje kompostowanie w całkowicie zamkniętych, zaizolowanych kontenerach. Napełniane kontenery zostają przyjęte przez samochód z systemem windy hakowej i przekazane do sekcji intensywnego humusowania, gdzie zostają podłączone do systemu nawiadniającego i odpowietrzającego. Wprowadzone sterowanie komputerowe przejmuje nadzór nad procesem kompostowania, którego faza intensywna trwa około 21 dni. W zależności od zapotrzebowania na tlen, do materiału doprowadzone jest – w pełni automatycznie – świeże powietrze. Powstające podczas procesu powietrze odlotowe, w celu usunięcia przykrego zapachu, zostaje przeprowadzone przez filtr biologiczny, a następnie uwolnione do atmosfery. Gromadząca się w czasie procesu woda jest zbierana w specjalnym zbiorniku oraz powtórnie doprowadzana do kontenerów w celu ewentualnego nawadniania. Na podstawie samoogrzewania, jak i biologicznej przebudowy materiału do zbutwienia następuje higienizacja, tzn. zarazki chorobotwórcze oraz zarodki chwastów zostają zniszczone. Uzyskuje się to poprzez prowadzenie procesu w temperaturze powyżej 50°C (proces 4-9). Powstający przy tym świeży kompost ma stopień zbutwienia II lub III, jest on stabilny biologicznie oraz wolny od nieprzyjemnego zapachu. podczas trwającej 4-6 tygodni fazy kompostowania dodatkowego w kopcu – osiąga stopień zbutwienia IV lub V. Zależnie od późniejszego przeznaczenia gotowy kompost jest odsiewany i przeznaczany do sprzedaży. Natomiast materiał, który został nie dokładnie wymieszany przed załadunkiem lub źle dobrano jego proporcje – nie osiąga wymaganej temperatury 50°C (proces 2-3) – i w tym wypadku materiał należy wysypać, dokładnie wymieszać lub domieszać materiał, aby otrzymać wymagane proporcje.

Suchy materiał wsadowy może osiągać zbyt wysoką temperaturę, co stanowi przyczynę palenia się w kontenerze, w związku, z czym należy materiał odpowiednio nawadniać podczas trwania procesu. Zbyt długi okres trzymania materiału w kontenerze również może spowodować palenie się materiału (w czasie trwania procesu materiał mający najniższą temperaturę nadaje się do rozładunku, dalsze zatrzymanie go w kontenerze będzie powodem wzrostu temperatury, a tym samym jego palenia).

Celem pracy kompostowni jest również przygotowanie materiału wsadowego o jak najwyższej jakości, co w sposób bezpośredni wiąże się z uzyskanymi wynikami kompostowania.

Podstawowym warunkiem przystąpienia do kompostowania jest przygotowanie materiału, który należy bardzo dokładnie wymieszać; bardzo dobre rozwiązanie stanowi tutaj mieszalnik (np. śrubowy), którego zakup został odłożony przez eksploatatora na termin późniejszy. W chwili obecnej MPGK w Świętochłowicach Sp. z o.o. pracę tę wykonuje za pomocą ładowarki Ł-201A, uzyskując efekty zadowalające, aczkolwiek dużym kosztem czasu.

Prace wstępne firma wykonuje na utwardzonym podłożu terenu przylegającego do kompostowni, tam też składowane są materiały wejściowe, takie jak osady pościekowe, liście, trawa, ścińki drzew i krzewów, zrąbki.

W związku z zanieczyszczeniem składowanych materiałów należy je w miarę możliwości oczyścić ze śmieci podczas mieszania. Po uprzednim odpięciu kontenera, transportuje się go na plac składowania, gdzie wypełnia się go materiałem przygotowanym przy użyciu w/w maszyn. Kontener wypełniany jest równomiernie, prawie w całej swojej objętości, do poziomu, w którym nakryty zostaje górny czujnik temperaturowy. Materiał wysypuje się przez górną pokrywę otwieraną hydraulicznie. Po przetransportowaniu na miejsce postoju, uruchamiany zostaje proces automatycznego kompostowania.

Początkowo MPGK uruchamiało tylko trzy kontenery, w celu ustalenia proporcji, co polega na ustaleniu procentowej zawartości poszczególnych składników przeliczanych na tony ładowarki. W chwili obecnej wykorzystuje się wszystkie kontenery.

Przybliżony procentowy skład poszczególnych składników to:

- osad – około 25%
- struktura:
 - liście – około 35%
 - zrąbki – około 40%

W początkowej fazie produkcji MPGK uzyskało niepożądane efekty, a mianowicie zbyt niska temperatura kompostowania doprowadziła do nadmiernej wilgotności i utrzymywania się odorów. Materiał ten w konsekwencji nie mógł być po raz kolejny wykorzystany do procesu kompostowania, gdyż należałoby dodać większą zawartość struktury, co zmieniłoby skład procentowy, doprowadzając tym samym do niemożności powtórzenia danej próby. Podczas procesu kompostowania, aby utrzymać wysoką temperaturę, należy sugerować się zawartością tlenu, która steruje przerwą między nadmuchami. Uzyskuje się to poprzez zwiększanie, bądź zmniejszanie wartości sterującej tlenu w recepturze. Czynność ta wykonywana jest przez operatora.

Po zakończeniu intensywnego kompostowania materiał z kontenerów wysypywany jest w specjalnie przygotowanym do tego celu miejscu, gdzie formowany jest w kształcie pryzm, których wymiary uzależnione są od pory roku. Przygotowane pryzmy dojrzewają od 4 do 6 tygodni, będąc jednocześnie mieszane, co dwa tygodnie. Otrzymany kompost wykazuje dobre optyczne i zapachowe cechy jakości. Kolejnym etapem jest przesiew gotowego kompostu i poddanie go badaniom, w celu uzyskania świadectwa jakości. Pozostałości po przesianiu, wykorzystuje się do ponownych prób, natomiast gotowy produkt przeznaczyć można do sprzedaży rynkowej, bądź do rekultywacji terenów zdegradowanych.

Do chwili obecnej Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Świętochłowicach Sp. z o.o. wyprodukowało około 1.600 Mg gotowego kompostu, z czego jedynie około 20 Mg uznało za nieprzydatne do dalszej fazy dojrzewania. Gotowy produkt wykorzystywany jest do budowy terenów zielonych przez zarządców nieruchomości, gminę oraz do własnych robót związanych z rekultywacją hałd. Z uwagi na fakt, iż materiał wsadowy pochodzi z centrum aglomeracji śląskiej, wykazuje dużą zawartość metali ciężkich.

2. MATERIAŁ WSADOWY DO KOMPOSTOWANIA

Podjęta próba oceny wpływu jakości surowców używanych do produkcji kompostu wykazała, że w fazie rozruchu technologicznego kompostowni kontenerowej podstawowym kryterium mającym znaczący wpływ na jakość kompostu, uwzględniając zwłaszcza realia lokalne śląska. Prezentowane dane oraz badania były podstawą do ustalenia zasad proporcji i metody przygotowania materiału wsadowego, w taki sposób, aby uzyskać kompost spełniający wymagania bn-89/9/0304 – kompost odpadów miejskich. Okazało się to zadaniem niezwykle trudnym i wymagającym.

Przygotowanie materiału wsadowego do kontenerów kompostowni polega na selektywnym gromadzeniu odpadów do produkcji kompostu, pochodzących głównie z terenów miasta świętochłowice (pas drogowy, zieleńce, skwery, cmentarze, ogródki działkowe, zieleń nieurządzona), a także osadów ustabilizowanych pochodzących z procesu oczyszczania ścieków w oczyszczalni „klimzowiec” w Chorzowie. Transport tych odpadów na teren kompostowni odbywa się w kontenerach, workach foliowych oraz na samochodach specjalistycznych. Odpady pochodzące z wycinki drzew – gałęzie, pnie – są zrąbkowane na zrębarkie kompostowni, albo już rozdrobnione na miejscu wycinki, a następnie odebrane i gromadzone na terenie kompostowni.

Przygotowanie wsadu polega na przebadaniu próbki wsadu do zapełnienia modułu podstawowego kompostowni, tak, aby – uwzględniając otrzymane wyniki i zwracając szczególną uwagę na zawartość metali ciężkich, tj. cynk, ołów – doprowadzić do optymalnego zestawienia mieszanki, która po zakończeniu procesu kompostowania zagwarantuje otrzymanie pożądaných cech kompostu kwalifikujących go do używania zgodnie z wymaganiami cytowanej wcześniej normy. Etap badań materiału wsadowego jest wymagany na każdy cykl załadunku modułu kompostowni. Następuje wtedy proces zestawienia mieszanki zrąbków liści, traw i osadów – w proporcjach objętościowych zależnych od parametrów wynikowych wsadu, a właściwie poziomu wspomnianych dwóch metali. Istotnym czynnikiem jest tu dokładne zestawienie w proporcjach objętościowych, np. 1 łyżka ładowarki o pojemności 2 m³ wg ustalonych proporcji dokonuje potem dokładnego wymieszania składników, w taki sposób, aby nie tworzyły się ogniska zlepionych brył zrąbków, a zwłaszcza traw. Oprócz mieszania należy stosować także rozgrabianie, dla uzyskania jednolitej wilgotności materiału wsadowego w pryzmie. Nierównomierne wymieszanie powodowało powstawanie w trakcie procesu szybkiego kompostowania ognisk „spalonych” lub ognisk „zimnych”.

W trakcie przygotowania materiału wyjściowego należy usunąć ewentualne zanieczyszczenia obce, nie biologiczne. po przygotowaniu partii materiału wsadowego należy jak najszybciej doprowadzić do załadunku nim całego modułu, przy pomocy

samochodu o nadwoziu hakowym i ładowarki, zwłaszcza w okresie jesiennym i zimowym, kiedy to znaczny wpływ na materiał wywiera temperatura oraz ilość odpadów atmosferycznych, jeżeli nie dysponuje się przestrzeniami zakrytymi. Istotnym problemem, który również należało pokonać był problem nadmiaru odcieków powstałych w kontenerze w trakcie procesu kompostowania. Wyeliminowano tą przeszkodę poprzez dokonanie zmian w projekcie w zakresie posadowienia kontenerów, zapewniając w ten sposób grawitacyjny odpływ odcieków do instalacji.

3. OCENA PRÓB I WYNIKI

Dla zilustrowania problemu trafności doboru proporcji materiału, zlecono opracowanie badań i technologii przygotowania materiału wsadowego Ośrodkowi Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach.

Spośród materiałów wykorzystywanych do przygotowania wsadu analizie poddano zrabki oraz osad ściekowy (tab.1). zawartość metali w zrabkach była niska. Większość metali występowała na poziomie wielokrotnie niższym od notowanego w wyrobie finalnym. Materiał ten nie decydował, więc w znaczącym stopniu o zawartości metali w produkowanym kompoście.

Zdecydowanie gorzej sytuacja przedstawiała się pod tym względem w przypadku osadu ściekowego. Uzyskane wartości wskazują, że osady ściekowe decydowały o zawartości w kompoście cynku oraz chromu. Trudno jednoznacznie określić, czy osad może być wykorzystywany do produkcji kompostu zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 11 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków, jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe. Występujące w osadach zawartości cynku, chromu i kadmu są wyższe od zawartych norm dla osadów stosowanych do kompostowania. Jednocześnie w rozporządzeniu tym nie sprecyzowano, czy mowa o kompostowaniu samego osadu, czy też mieszaniny z innymi materiałami. Wydaje się, że o przydatności osadu decydować powinna zawartość wymienionych metali w produkcie finalnym.

Poddawany analizie osad, zgodnie z w/w rozporządzeniem może być stosowany do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu oraz do roślinnego utrwalania powierzchni gruntów. w tym przypadku zawartość metali spełnia odpowiednie normy. Analiza danych dotyczących zawartości chromu wskazuje na znaczące różnice w poszczególnych próbach materiału finalnego oraz w półproduktach (wsad, kompost dojrzewający). Wskazuje to na znaczne różnice w jakości różnych partii osadu. Wydaje się, że zawartość tego pierwiastka w kompoście można obniżyć poprzez kontrolę jakości osadu wykorzystywanego do przygotowania wsadu.

Konieczne wydaje się ograniczenie zawartości kadmu i chromu w ściekach doprowadzanych na oczyszczalnię „klimzowiec”. Wymaga to jednak dokładnej analizy jej zlewni, a szczególnie zakładów mogących stanowić potencjalne źródło tego typu zanieczyszczeń (przemysł metalowy, metali niezależnych, garbarski oraz wybrane działy rzemiosła). Po stwierdzeniu rzeczywistego źródła tego typu zanieczyszczeń konieczne jest wymuszenie zastosowania odpowiednich urządzeń podczyszczających w wybranych zakładach. Stosunkowo trudno będzie uzyskać znaczącą redukcję cynku. jego głównym źródłem są, jak się wydaje, ścieki komunalne.

Odrębny problem stanowi wysoka jakość ołowiu w próbach pobieranych ze wszystkich faz produkcji. Stężenia ołowiu w zrąbkach i w osadzie ściekowym są stosunkowo niskie. Podwyższona jego zawartość w produkcie finalnym prawdopodobnie wynika z zastosowania surowca, który nie był poddawany badaniom - liści z drzew zbieranych na terenie miasta. Głównym źródłem ich zanieczyszczenia może być transport, a w szczególności emisja z samochodów zasilanych benzyną ołowiową.

TABELA 1
Zawartość metali we wsadzie oraz w analizowanych surowcach

lp.	Wskaźnik	Jedn.	Wsad	Osad	Zrąbki
1.	Substancje organiczne	%	42,25	54,75	92,70
2.	Cynk	mg/kg	2060,00	2980,00	369,00
3.	Ołów	mg/kg	630,00	382,00	171,00
4.	Kadm	mg/kg	19,00	20,00	4,00
5.	Chrom	mg/kg	403,00	1395,00	24,00
6.	Nikiel	mg/kg	32,00	81,00	7,00
7.	Miedź	mg/kg	94,00	265,00	23,00
8.	Rtęć	mg/kg	< 0,50	1,45	< 0,50

Kompost spełniał wymagania jakościowe ogólne. Charakteryzował się następującymi cechami organoleptycznymi: posiadał czarną barwę, zapach świeżej ziemi ogrodowej, strukturę guzłkową i sypką. Zawartość substancji organicznej spełniała wymagania I lub II klasy.

W próbach stwierdzono podwyższone zawartości metali ciężkich, co sprawia, że nie odpowiadał on żadnej z klas wyszczególnionych w normie branżowej BN-89/910309. W próbie o dyskwalifikacji decydował cynk, stwierdzono też ponadnormatywne stężenia cynku, ołowiu i chromu (Tab.2).

TABELA 2
Wyniki analiz kompostu finalnego

Lp.	Wskaźnik	Jedn.	Kompost		Dopuszczalna zawartość metali w kompoście		
			I	II			
1.	Substancje organ.	%	39,50	42,25	40,00	30,00	20,00
2.	Cynk	mg/kg	3070,00	3420,00	1500,00	2500,00	2500,00
3.	Ołów	mg/kg	775,00	967,00	350,00	500,00	800,00
4.	Kadm	mg/kg	22,50	19,00	5,00	15,00	25,00
5.	Chrom	mg/kg	630,50	1347,00	300,00	500,00	800,00
6.	Nikiel	mg/kg	36,00	57,00	300,00	600,00	800,00
7.	Miedź	mg/kg	124,00	155,00	300,00	600,00	800,00
8.	Rtęć	mg/kg	0,93	0,52	-	-	-

4. WNIOSKI

Stwierdzono wyraźne różnice zawartości metali w kompoście w zależności od partii produktu. Czynnikiem decydującym wydaje się być zmienne stężenie metali w stosowanych surowcach, a szczególnie w osadzie ściekowym.

O podwyższonych zawartościach poszczególnych metali decydują:

- osad ściekowy - o zawartości cynku i chromu;
- liście z drzew położonych w pobliżu o dużym natężeniu ruchu – o zawartości ołowiu.

Możliwa jest poprawa jakości produktu finalnego poprzez:

- zmianę proporcji surowców stosowanych do przygotowania wsadu, zmniejszenie ilości stosowanego osadu ściekowego oraz liści;
- kontrolę składu stosowanych surowców, prowadzącą do eliminacji niektórych ich partii;
- ograniczenie ładunku metali wprowadzanych w ściekach surowych wprowadzanych na oczyszczalnię „Klimzowiec” poprzez odpowiednie rozeznanie zlewni oczyszczalni i wymuszenie podczyszczania ścieków przemysłowych zawierających metale ciężkie, a w szczególności chrom i kadm.

Stosunkowo wysokie koszty przygotowywania materiału wsadowego z uwagi na konieczność stałego przeprowadzania monitoringu wsadu.

Trudne, a wręcz niemożliwe do uzyskania w warunkach na Śląsku lub z terenów zieleni pasa drogowego o intensywnym ruchu wyniki kompostu kwalifikujące go do klasy I lub II.

5. LITERATURA

- [1] WCI NATCOL Sp. z o.o. j.v.: *Program zintegrowanego systemu zagospodarowania odpadów komunalnych dla miasta Świętochłowice*, Katowice (1997)
- [2] WCI NATCOL Sp. z o.o. j.v.: *Projekt budowlany. Kontenerowy system kompostowania w Świętochłowicach*, Jastrzębie Zdrój (1998)
- [3] OŚRODEK BADAŃ KONTROLI ŚRODOWISKA KATOWICE: *Ocena jakości kompostu MPGK Świętochłowice Sp. z o.o. pod względem zawartości metali ciężkich*, Katowice (2000)

Rafał CHMIELEWSKI

UNIESZKODLIWIANIE ODPADÓW W WARUNKACH FERMENTACJI BEZTLENOWEJ Z WYKORZYSTANIEM TZW. PRYZM ENERGETYCZNYCH NA PRZYKŁADZIE ZAKŁADU UNIESZKODLIWIANIA ODPADÓW W ZAKURZEWIE

Streszczenie

Zakład Unieszkodliwiania Odpadów w Zakurzewie funkcjonuje od marca 1997 roku. Pracujący w technologii szwedzkiej firmy SWECO jest drugim po składowisku w Braniewie, w którym odpady składowane są w tzw. pryzmach energetycznych. Regulowana temperatura i wilgotność pryzm sprzyja intensywnej produkcji metanu będącego efektem beztlenowej fermentacji frakcji organicznej odpadów. Powstały metan w procesie spalania przetworzony w energię elektryczną stanowić będzie jedno ze źródeł dochodu składowiska. Atutem technologii pryzm jest wielokrotne wykorzystywanie powierzchni eksploatacyjnej składowiska.

1. CHARAKTERYSTYKA MIASTA I REGIONU GRUDZIĄDZKIEGO

Na składowisko odpadów komunalnych w Zakurzewie przywożone są odpady z terenu miasta i gminy Grudziądz. Grudziądz, miasto malowniczo położone w dolinie Wisły i Osy, zamieszkałe jest przez ponad 100.000 mieszkańców. Miasto o bogatej historii, prawa miejskie uzyskało w 1291 roku, posiada mnóstwo zabytków i rozległą Starówkę przyległą do prawego brzegu Wisły oraz osiedla mieszkaniowe z nową zabudową zlokalizowane głównie w południowej części miasta. Wskutek transformacji ustrojowych państwa większość dużych zakładów przemysłowych znacznie ograniczyła produkcję i zatrudnienie. Fakt ten ma oczywiście wpływ na skład odpadów powstających w mieście. Odpady przemysłowe powstają na niewielką skalę. Gmina Grudziądz to gmina o charakterze rolniczym z dużą ilością niewielkich gospodarstw bez sprecyzowanej produkcji. Charakterystyczną działalnością podmiejskich gospodarstw jest uprawa wczesnych odmian warzyw i kwiatów w tunelach foliowych. Zagadnienia gospodarki komunalnej na terenie miasta uregulowano odpowiednimi uchwałami Rady Miejskiej, brak jednak skutecznej motywacji skłaniającej mieszkańców do współudziału w racjonalnej gospodarce odpadami.

2. WYBÓR TECHNOLOGII UTYLIZACJI ODPADÓW ORAZ LOKALIZACJI SKŁADOWISKA DLA MIASTA GRUDZIĄDZA

Z powodu wyczerpywania się powierzchni eksploatacyjnej miejskiego wysypiska odpadów, na przełomie lat 80 i 90 władze samorządowe stanęły przed dylematem wyboru technologii nowego wysypiska. W związku ze znanym problemem uzyskania zgody na lokalizację wysypiska wybór padł na uznaną za stosunkowo najmniej uciążliwą dla środowiska technologię szwedzkiej firmy SWECO. W chwili wyboru, a więc w 1992 roku, nie funkcjonowało jeszcze w Polsce żadne składowisko tego typu a założenia projektowe opierano na wynikach badań na pilotażowej instalacji w szwedzkiej Hagby. Na etapie wyboru technologii rozpoczęto budowę bliźniaczej inwestycji w Braniewie, która została oddana do użytku w 1995 roku. Podstawowym atutem przemawiającym za inwestycją w technologii pryzm energetycznych była możliwość ponownego wykorzystania powierzchni składowiska po rozbiórce pryzm. Innym równie ważnym atutem, jak wówczas uważano, było założenie przyjmowania całego strumienia odpadów komunalnych i podobnych do komunalnych bez uprzedniej segregacji. Wykonana przez SWECO analiza ekonomiczna opierała się na założeniach, u podstaw których leżała sprzedaż wszystkich powstałych frakcji. Nie wysegregowanie odpadów niebezpiecznych, takich jak baterie, przeterminowane leki czy zużyte świetlówki, ze strumienia odpadów spowoduje w przyszłości ograniczenie możliwości wykorzystania powstałego kompostu, ale z powodzeniem będzie on mógł być zastosowany do przykrywania pryzm, a w przyszłości także w drogownictwie. Zakładano również sprzedaż odpadów nie rozłożonych w procesie fermentacji jako paliwa energetycznego.

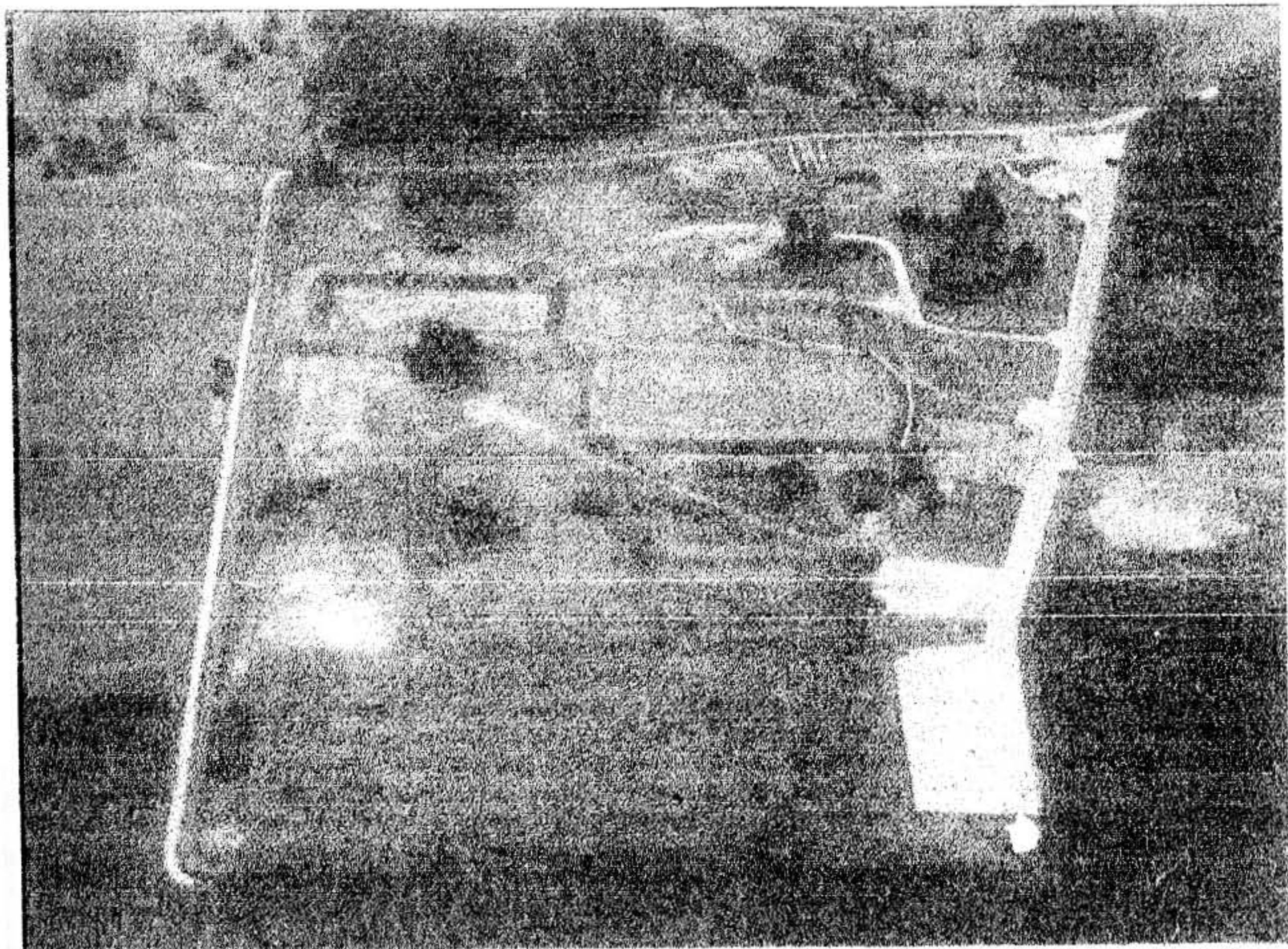
Aspektem przemawiającym za tą technologią były też zakładane niskie koszty eksploatacyjne wynikające z ograniczenia liczby zatrudnionych pracowników obsługi do zaledwie 6 osób, w tym 2 pracowników fizycznych. Kolejnym plusem miała być ograniczona uciążliwość dla sąsiadów wynikająca z małej powierzchni nie zabezpieczonych przed rozwiewaniem odpadów.

Składowisko zlokalizowane jest w miejscowości Zakurzewo znajdującej się na terenach Gminy Grudziądz, na wysokim prawym brzegu Wisły, ponad 60 m n. p. m., w odległości około 15 km w kierunku północnym od centrum Grudziądza. Ogólna powierzchnia składowiska wynosi 12,2 ha z czego ponad 2,5 ha to teren zarezerwowany na pryzmy a 2,4 ha to teren rezerwowy, który najprawdopodobniej wykorzystany zostanie do składowania sprasowanego odpadu internego po rozbiórce pryzm. Zgoda społeczna na lokalizację składowiska została uzyskana w drodze negocjacji, mieszkańcy uzyskali zapewnienie, że wybudowana zostanie świetlica i pawilon handlowy oraz, że w Zakładzie Unieszkodliwiania Odpadów zatrudnieni będą mieszkańcy okolicznych wsi.

3. OPIS SKŁADOWISKA I CIĄGU TECHNOLOGICZNEGO

Teren składowiska (Fot. 1) jest ogrodzony i monitorowany przez całą dobę. Wyeliminowano w ten sposób dostęp do odpadów osób postronnych. W skład infrastruktury składowiska wchodzi sieć dróg zewnętrznych, którą stanowią betonowe

droga dojazdowa oraz droga objazdowa ułożona z płyt betonowych. Pierwsza wykorzystywana jest przez pojazdy dojeżdżające do składowiska, druga pomyślana została jako droga awaryjna dla służb pożarniczych. Drogi technologiczne na terenie składowiska są w całości drogami betonowymi.



Fot.1 Widok ogólny - Zakurzewo z lotu ptaka

3.1. Waga samochodowa

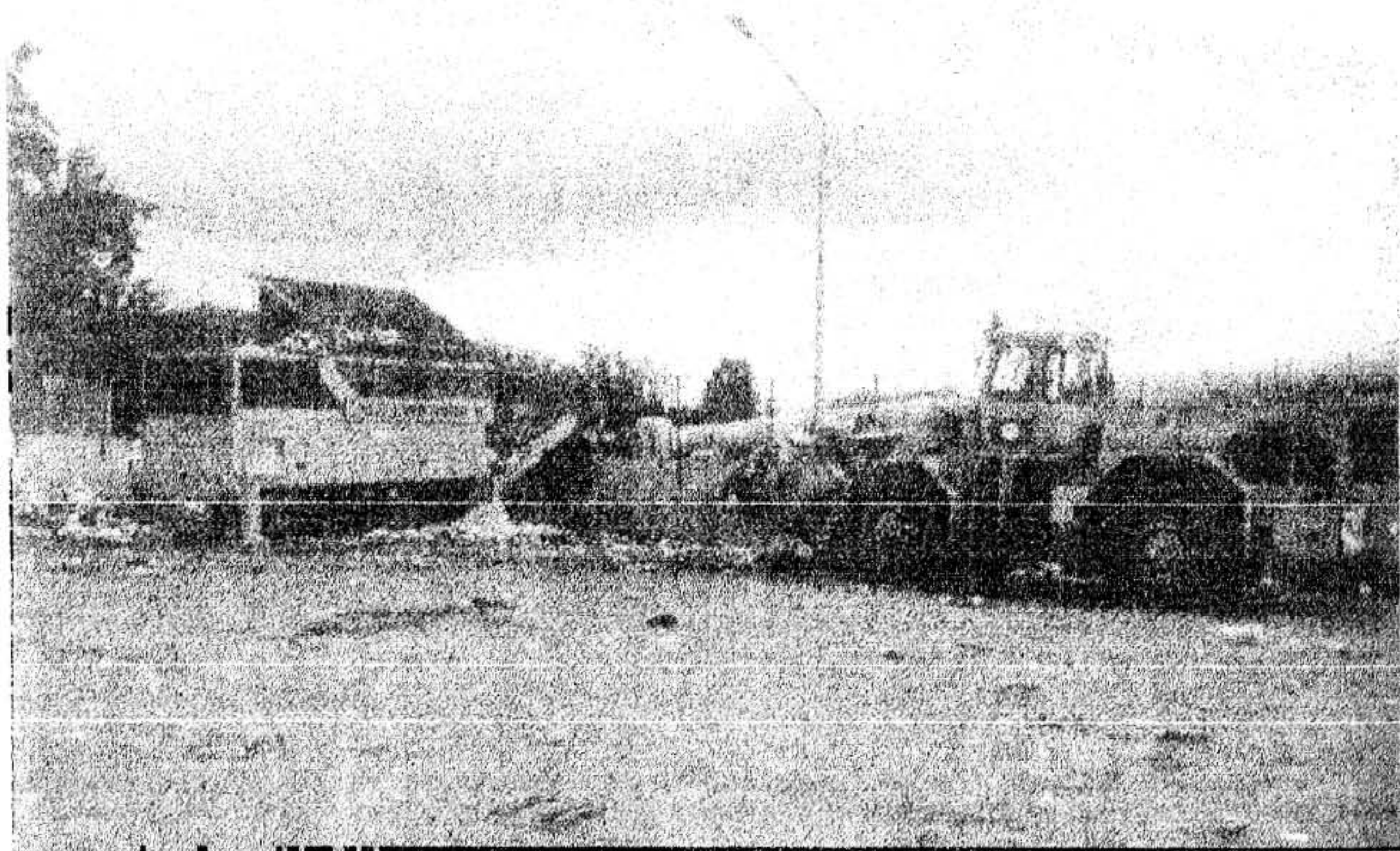
Pierwszym elementem ciągu technologicznego jest waga samochodowa SCHENCK DFT-E2 o wymiarach płyty najazdowej 10 m x 3 m. Umożliwia ona ważenie, rejestrację odpadu po jego zakwalifikowaniu przez wagowego w myśl obowiązującej klasyfikacji oraz sporządzanie różnorodnych zestawień i statystyk w formie wydruku komputerowego.

3.2. Plac sortowniczy z rozdrabniarką

Po zważeniu pojazdy przejeżdżają na plac sortowniczy (Fot. 2). Plac o wymiarach 30 m x 30 m jest wybetonowany i ogrodzony 3m siatką ogrodzeniową. Samochód po rozładowaniu, bez kontaktu z wyładowanymi odpadami, wyjeżdża z placu. Pojazd, jeżeli nie jest wytarowany, podlega ponownemu ważeniu, kierowca odbiera fakturę za przyjęcie odpadów na składowisko i samochód przez brodzik dezynfekujący opuszcza składowisko.

Odpady rozprowadzane są równomiernie na części placu sortowniczego ładowarką

kołową Ł 34 produkcji Stalowej Woli, dwóch pracowników wybiera z odpadów spostrzeżone surowce wtórne oraz odpady mogące uszkodzić rozdrabniarkę.



Fot. 2. *Plac sortowniczy z ładowarką Ł-35 i rozdrabniarką WR-3000M.*

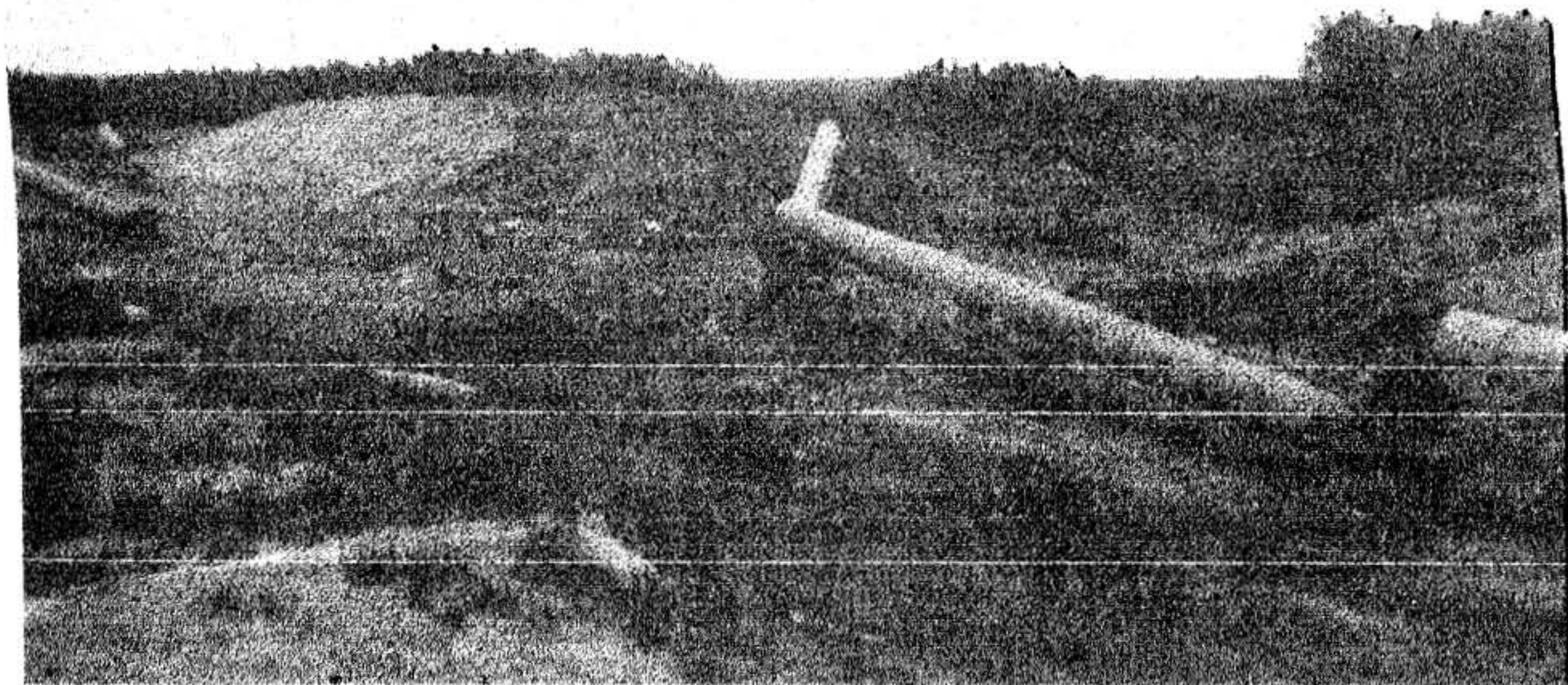
Następnie odpady za pomocą ładowarki podawane są do leja zasypowego rozdrabniarki WR-3000 M duńskiej firmy Niro. Rozdrabniarka kruszy odpady o gabarytach znacznie przekraczających wymiar 1 dm^3 , rozrywa worki, miesza i homogenizuje odpady. Rozdrabniarka zasilana jest silnikiem spalinowym. Posiada dwa przeciwbieżne wały z zamontowanymi na nich nożami ruchomymi - po 11 na każdym wale obracające się i przechodzące przez tzw. stół tnący - noże stałe.

3.3. Pryzmy energetyczne wraz z ciągiem transporterów.

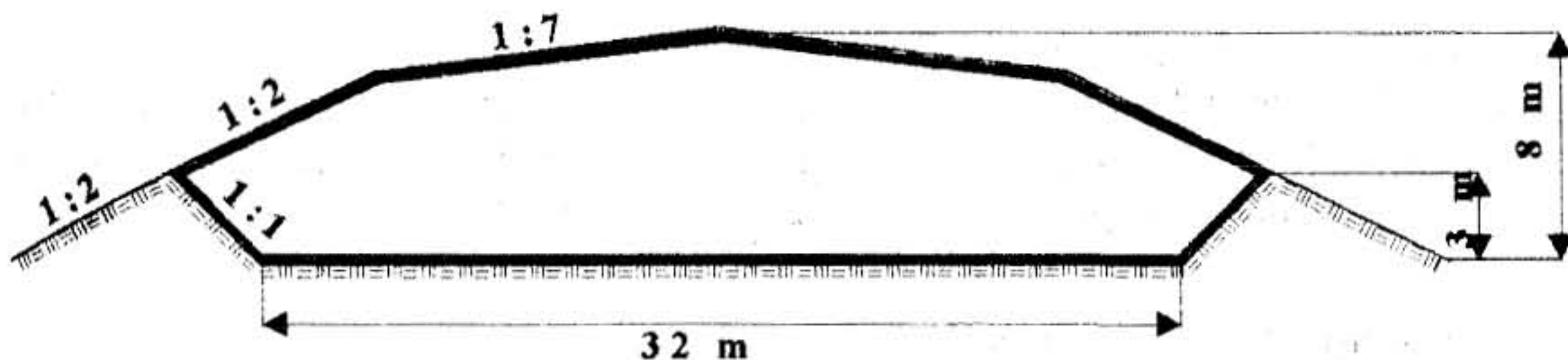
Odpady po rozdrobnieniu podawane są na ciąg transporterów, którymi trafiają do pryzmy. Taśmociągi B 600 produkcji Fugo Konin (Fot. 3.), są transporterami górniczymi. Napędzane są silnikami elektrycznymi o mocy 3 kW, szerokość transportera wynosi 600 mm. Długość transportera wynosi 20 m, dotychczas wykorzystana ilość transporterów w ciągu wahała się od 4 do 10 a zależna była od usytuowania bieżącej pryzmy oraz od etapu jej zapełniania. W celu ograniczenia rozwiewania odpadów podczas transportu przenośniki zostały obudowane osłoną przeciwwietrzną. Płynność pracy przenośników zapewniają pracownicy, z których każdy ma przypisane 2 transportery. Pracownicy ci dbają też o czystość wokół taśmociągów. Miejsca przesypywania odpadów między taśmociągami zostały zabezpieczone specjalnymi kurtynami przeciwwietrznymi. Odpady doprowadzane są do pryzmy punktowo i rozprowadzone wewnątrz pryzmy ładowarką gąsienicową ŁG 175

C produkcji Stalowej Woli. Ładowarka formuje odpady w założony kształt pryzmy i jednocześnie zagęszcza je do $600\text{--}800\text{ kg/m}^3$. Okresowo odpady przesypywane są 5-cio cm warstwą ziemi z wykorzystaniem sprzętu pracującego na składowisku. Ziemia pozyskiwana jest z terenu budowy kolejnych stanowisk pod odpady, gdyż składowisko budowane jest na bieżąco, w przypadku braku ziemi, z tzw. terenu rezerwowego.

Kształt pryzmy uwarunkowany jest technologią odzysku biogazu. Przygotowana niecka w przekroju stanowi odwrócony trapez o wysokości $h=3\text{ m}$, rzut niecki daje prostokąt o wymiarach $70 \times 38\text{ m}$. Niecka uszczelniona jest 50-cio cm warstwą gliny. Nasyp formowany z odpadów ma w przekroju kształt połączonych trapezu i trójkąta nałożonych na siebie o łącznej wysokości 5 m , całkowita miąższość odpadów wynosi więc 8 m . Boki dolnego trapezu mają nachylenie $1:2$, trójkąta natomiast $1:7$. Pryzma jest na bieżąco formowana i przykrywana 20-to cm warstwą ziemi (Rys. 1). Instalacja nawadniająca i odgazowująca zabijana jest po zakończeniu eksploatacji pryzmy.



Fot. 3. Transportery B 600, w tle ładowarka LG 175 C podczas formowania pryzmy.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny pryzmy - schemat.

W przypadku awarii trwającej do 3 dni odpady są gromadzone na placu sortowniczym, gdy przerwa jest dłuższa odpady z pominięciem ciągu technologicznego kierowane powinny być do tzw. celi energetycznej. Jest to usytuowane w dogodnym pod względem dojazdu punkcie naturalne zagłębienie terenu, które zostało uszczelnione podobnie jak przyzmy gliną. Cella posiada instalację drenażową i jest przystosowana do zabicia instalacji odgazowującej i nawadniającej.

3.4. Instalacja drenażowa, nawadniająca i odgazowująca

Zdeponowane w przyzmy odpady podlegają spontanicznym procesom biochemicznym, w wyniku których powstaje gaz wysypiskowy zwany biogazem. Decydujące znaczenie w jego powstawaniu mają bakterie metanowe, które po wyczerpaniu w złożu tlenu O_2 i zakończeniu fermentacji tlenowej, rozpoczynają fermentację beztlenową złoża. Powstaje gaz składający się głównie z dwutlenku węgla CO_2 , metanu CH_4 oraz wody H_2O w postaci pary. W celu optymalizacji procesu, czyli uzyskania w powstającym gazie możliwie największej zawartości palnego metanu, konieczne jest sterowanie procesem poprzez utrzymywanie odpowiedniej temperatury i wilgotności w przyzmy oraz recyrkulowanie bakterii metanowych wraz z odciekami. W tym celu przyzma posiada system instalacji nawadniającej, drenażowej i odgazowującej złoża (Rys. 2.).

3.4.1. Drenaż przyzmy

Drenaż przyzmy stanowi rura perforowana ułożona w przekątnej podstawy przyzmy z nachyleniem do jednego z narożników, z którego rurą pełną odcieki odprowadzane są do studni zbiorczej wspólnej dla dwóch sąsiednich przyzm. Dno niecki nachylone jest w stronę rury drenażowej. Perforowane rury drenażowe ułożone są w żwirowej podsypce.

3.4.2. Zbiorniki wód odciekowych

Odcieki ze studni zbiorczej grawitacyjnie odprowadzone są do betonowego zbiornika wód odciekowych o objętości 76 m^3 połączonego z ziemnym zbiornikiem przelewowym uszczelnionym warstwą gliny. W betonowym zbiorniku wód odciekowych zainstalowana jest pompa wodna Grindex o maksymalnej wydajności $1,9\text{ m}^3/\text{min}$. Pompa tłoczy odcieki z powrotem do przyzm. W zbiorniku znajduje się też rurowy wymiennik ciepła powstającego w procesie produkcji energii elektrycznej. Wymiennik ten powinien pokryć straty ciepła w założonej ilości 190 kW/h przy pełnym wykorzystaniu przyzm. Jego podstawowym zadaniem jest utrzymanie optymalnej dla przebiegających procesów fermentacyjnych temperatury w przyzmy, czyli około 35°C .

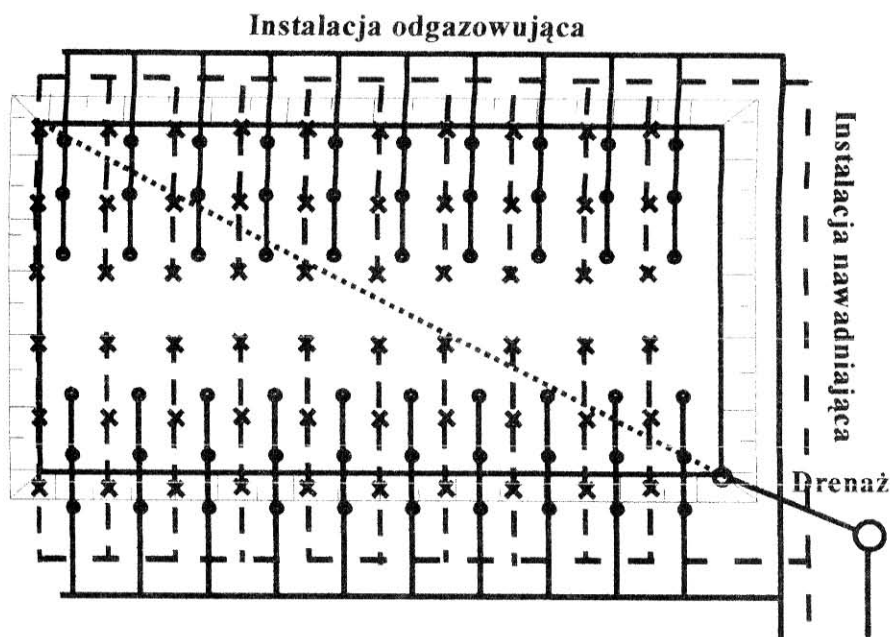
3.4.3. Instalacja wód iniekcyjnych

Zawracane ze zbiornika odcieki zraszają przyzmę utrzymując pożądaną wilgotność i temperaturę. Odcieki doprowadzone są do przyzmy systemem 60 perforowanych rur o długości 1,5 m. Wydajność każdej studni iniekcyjnej to 36 l/h .

3.4.4. System wydobywania gazu z przyzmy

Każda przyzma posiada własny system wydobywania gazu składający się z 60 studni gazowych z zaworami oraz izolowanej rury kolektora gazowego (Fot. 4). Kolektory

podłączone są do kolektorów zbiorczych ułożonych wzdłuż przyzmy, które łączą się następnie w kolektory główne. Maksymalny przepływ gazu na jaki zaprojektowane zostały kolektory zbiorcze to $210 \text{ m}^3/\text{h}$ w okresie najbardziej intensywnej fazy procesu. Kolektor główny podłączony jest do stacji pompowania gazu.



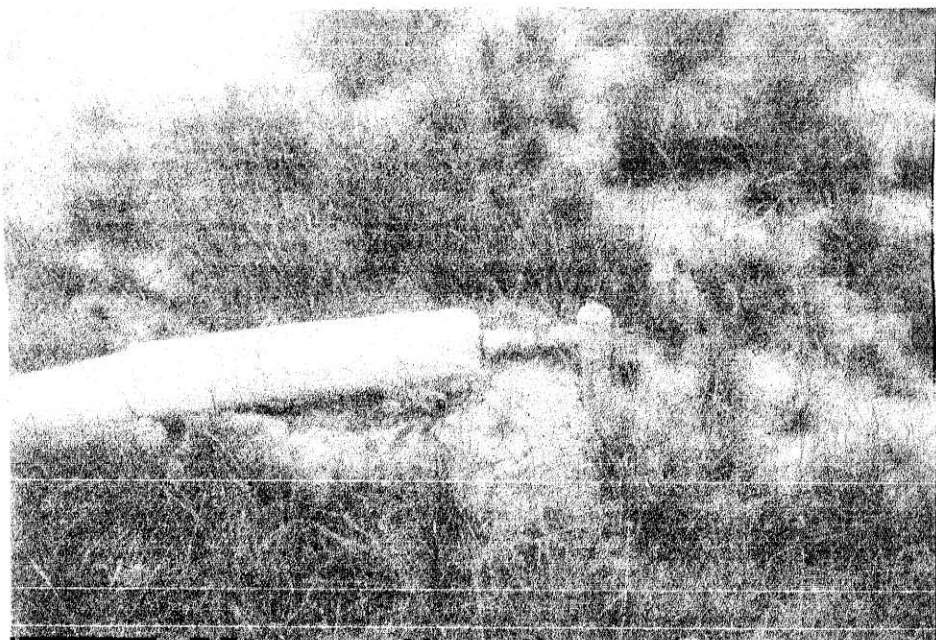
Rys. 2. Schemat instalacji nawadniającej, odgazowującej i drenażowej przyzmy

3.4.5. Stacja pompowania gazu i generator energii elektrycznej.

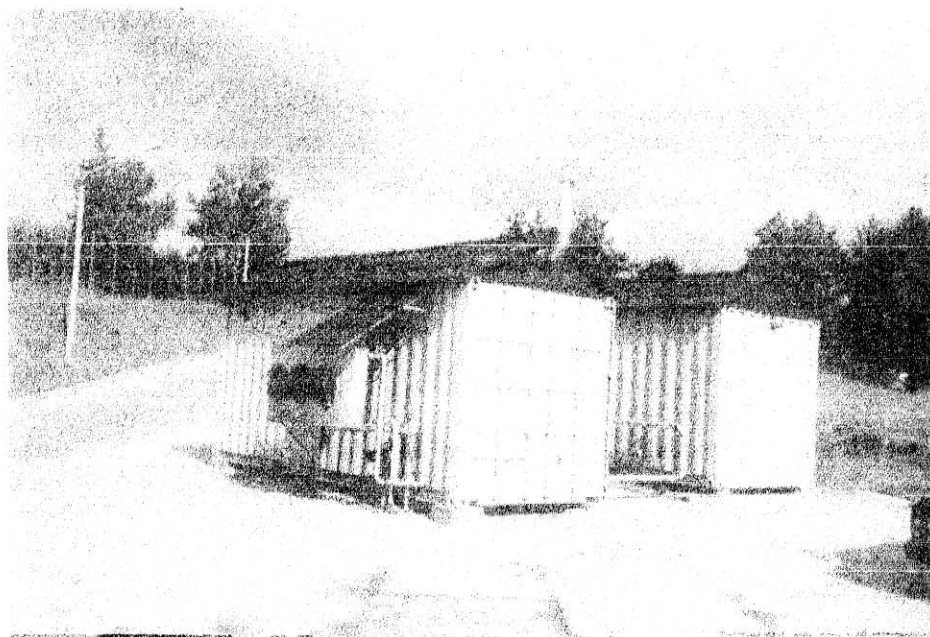
Kontenerowe stacja pomp oraz generator energii elektrycznej (Fot. 5 i 6) zaprojektowane i wykonane zostały przez szwedzką firmę LNV SERVICE Gothenburg. Stacja pomp posiada dwie dmuchawy z silnikami o mocy 3,5 i 5,5 kW, które uruchamiane będą w zależności od potrzeb. Generator o mocy elektrycznej 189 kW produkować będzie jednocześnie energię cieplną wykorzystywaną do podgrzewania odcieków.

3.5. Place składowe

Dodatkowym elementem składowiska są place składowe, na których składowane są przygotowane do sprzedaży surowce wtórne takie jak szkło, gruz, złom, opony samochodowe. Na nich odbywa się kruszenie szkła zwiększające jego ciężar właściwy, co obniża koszty transportu.



Fot. 4. Studnia gazowa z zaworem i izolowanym kolektorem



Fot. 5. Kontenerowa stacja pomp i generator

3.6. Urządzenia do rozbiórki pryzm

Założenia projektowe składowiska zakładają rozbiórkę pryzm po około 5 latach intensywnej ekstrakcji gazu. W swoim opracowaniu projektant lakonicznie wspomniał o konieczności rozbiórki pryzm, nie ma jednak żadnego opracowania co do technologii tejże rozbiórki. Urząd Miejski, właściciel składowiska dokonał wstępnego rozeznania rynku urządzeń do sortowania odpadów i zapowiedział współpracę z eksploatatorem celem wyboru najlepszych rozwiązań.



Fot. 6. Generator

3.7. Monitoring oddziaływania na środowisko

Na terenie składowiska i jego bezpośrednim sąsiedztwie znajdują się trzy piezometry, z których okresowo pobierane są próbki wody do badania.

3.8. Działania wspomagające

Przedsiębiorstwo Usług Miejskich „PUM” sp. z o.o. prowadzi na terenie miasta selektywną zbiórkę odpadów u źródła. Od 1998 na terenie miasta rozstawiane są pojemniki do selektywnej zbiórki szkła i odpadów z tworzyw sztucznych. Zakup pojemników finansuje Urząd Miejski, zaś koszty bieżące ponosi „PUM” sp. z o.o. z opłat za wywóz odpadów. Obecnie pojemniki takie stoją w 340 punktach miasta.

4. DOŚWIADCZENIA Z EKSPLOATACJI SKŁADOWISKA

Składowisko przyjmuje odpady od 10 marca 1997 roku, eksploatatorem składowiska jest Przedsiębiorstwo Usług Miejskich „PUM” sp. z o.o. w Grudziądzu. Urząd Miejski ustalił listę odpadów, które mogą być przyjęte przez Zakład Unieszkodliwiania Odpadów w Zakurzewie. Na liście tej obok odpadów komunalnych z grupy 20 Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w sprawie klasyfikacji odpadów znajdują się odpady z przemysłu spożywczego oraz osady z oczyszczalni ścieków.

Cena za przyjęcie odpadów na składowisko ustalana jest corocznie na podstawie przewidywanych kosztów bieżących, zatwierdzana jest przez Radę Miejską, obowiązująca w roku 2000 to 45,00 zł/t netto. Cena ta nie uwzględnia amortyzacji i kosztów rozbiórki pryzm a koszty założonych remontów głównych poniesie właściciel składowiska - Urząd Miejski.

Przedsiębiorstwo Usług Miejskich „PUM” sp. z o.o. jest głównym dostawcą odpadów na składowisko w Zakurzewie. Średnio 2,5 tys ton miesięcznie dostarczanych jest za pomocą 5 tradycyjnych pojazdów bezpylnych oraz 2 śmieciarek Super Medium produkcji Eko Cel Puck, które wykorzystywane są jako mobilne stacje przeładunkowe i jednorazowo zabierają od 18 do 22 kontenerów KP-7 m³, na których opieramy wywóz z nowych osiedli mieszkaniowych. Około 90 kursów „hakowców” do Zakurzewa każdego dnia zastąpiliśmy 4 kursami Super Medium. odpady dostarczają również klienci indywidualni.

Ponad trzyletnia eksploatacja składowiska zweryfikowała szwedzkie założenia w warunkach grudziądzkich.

W ZUO zatrudnionych jest 15 osób nie licząc stróży, którzy są pracownikami wynajętej firmy dozorującej mienie. Zakładana liczba pracowników nie byłaby w stanie utrzymać ciągłości pracy składowiska. Zastrzeżenia można mieć do niektórych z zastosowanych urządzeń i rozwiązań technologicznych. Rozdrabniarka WR 3000 M zużywa 45 l ON na godzinę pracy, jej awarie są bardzo kosztowne a czas ich usunięcia znacznie przekracza zakładane w dokumentacji okresy. Z tego powodu podczas najpoważniejszej z dotychczasowych awarii, gdy pękł jeden z wałów urządzenia, całkowicie zapełniona została cela energetyczna. Zastosowane taśmociągi okazały się zbyt wąskie a silniki je napędzające zbyt słabe. Mimo zastosowanych osłon lekka frakcja odpadów podczas transportu taśmociągami jest rozwiewana. Zbyt krótka okazała się też waga samochodowa, która ograniczyła możliwości zastosowania większych pojazdów do transportu odpadów. Uszczelnienie ziemnego zbiornika wód odciekowych wykonane z gliny jest niszczone przez zmieniający się poziom agresywnych wód odciekowych,

ponadto na etapie wykonawstwa natrafiono na trudności terenowe i instalację odciekową celi energetycznej podłączono bezpośrednio do zbiornika ziemnego, który tym samym przestał pełnić rolę zbiornika awaryjnego. Do dnia dzisiejszego system produkcji energii elektrycznej nie został uruchomiony ze względu na kłopoty z oprogramowaniem komputerowym systemu sterowania. Podczas przeprowadzonych prób ujawniono najpoważniejszy mankament całego systemu odgazowania, nie zauważony na etapie projektowania, mianowicie brak instalacji odwadniającej instalację gazową. Ze względu na charakter odpadów jak i ciągle zraszanie pryzm odciekami powstający gaz ma dużą wilgotność, która uniemożliwia jego spalanie.

Działania wspomagające, głównie prowadzenie selektywnej zbiórki odpadów przynosi pozytywne efekty. Ilość zbieranych w ten sposób odpadów systematycznie rośnie i w roku 1999 zebrano 240 t szkła i 80 t tworzyw sztucznych (głównie PET) co odpowiada 9.000 m³ luźno usypanych odpadów i stanowi połowę założonej objętości pryzmy.

Dużym plusem transportu odpadów do pryzm taśmociągami jest brak kontaktu pojazdów z wyładowanymi odpadami. System ten przynosi pozytywne rezultaty w postaci znacznego ograniczenia awarii ogumienia oraz układów zawieszenia pojazdów w porównaniu do tradycyjnej metody.

Przykrywanie odpadów na bieżąco podczas formowania pryzmy znacznie ogranicza efekty uboczne funkcjonowania składowiska. Znane z innych wysypisk ptaki roznoszące odpady po okolicy w Zakurzewie praktycznie nie występują, znacznie ograniczone jest też rozwiewanie odpadów i emisja odorów.

Wyniki przeprowadzonych badań wód w piezometrach są zadowalające, gdyż nie zauważono przekroczeń wartości zanieczyszczeń w porównaniu z badaniami tła czyli wód z tych samych studni przed uruchomieniem składowiska.

Prowadzone badania zawartości metanu w gazie wysypiskowym są również zadowalające. W chwili obecnej w biogazie z pryzmy IA, której eksploatację zakończono w lipcu 1998 roku, metan stanowi 67%, z pryzmy IB, której eksploatację zakończono w czerwcu 1999 roku, zawartość metanu wynosi 65%.

5. PODSUMOWANIE

Składowisko funkcjonuje od 10 marca 1997 roku, z dwu i pół miesięczną przerwą na zakończenie dotychczasowego grudziądzkiego wysypiska. Na koniec czerwca 2000 roku pryzmy IA i IB były zakończone, przykryte i z zabitą instalacją czekały na uruchomienie zespołu prądotwórczego. Pryzma IIB została zakończona, prowadzono prace polegające na montażu instalacji odgazowującej i nawadniającej, pryzma IIA wypełniona była w 50%. Przewidywane jej zamknięcie to koniec października 2000. Cella energetyczna była zakończona i przykryta. Na składowisku zdeponowano łącznie blisko 82.000 t odpadów.

Urząd Miejski podjął prace nad przeprojektowaniem składowiska. Zdecydowano się na budowę zamiast sześciu kolejnych pryzm, jednej dużej podzielonej na cztery budowane sukcesywnie kwatery. W związku ze zwiększeniem powierzchni czynnej składowiska jak i dotychczasowymi problemami z wodami odciekowymi zdecydowano się na przeprojektowanie zbiornika wód odciekowych. W celu dostosowania składowiska do

standardów unijnych zmieniony zostanie system uszczelnień składowiska. Zastosowana zostanie 2 mm folia HDPE ze zwiększoną wytrzymałością dzięki zastosowaniu geowłókniny i warstwy filtracyjnej. Wszystkie zmiany mają na celu zwiększenie pojemności czynnej składowiska i odsunięcie w czasie planowanej rozbiórki pryzm, poprawę efektywności składowiska i zmniejszenie kosztów eksploatacji. Zmianie ulegnie również nie dopracowana jeszcze technologia rozbiórki pryzm.

Założenia Techniczno Ekonomiczne Składowiska Odpadów Komunalnych dla miasta Grudziądza opracowane przez SWECO, które stanowią część przyjętej do realizacji dokumentacji, zakładały zakup w 2000 roku urządzeń do rozbiórki pryzm, sortowania i belowania odpadów. Opracowanie zakładało koszt urządzeń na poziomie 2,2 mln SEK co odpowiada 1,2 mln zł. Realizacja tej inwestycji, choć zapewne przekroczy zakładane koszty, zaowocuje wykorzystaniem najważniejszego argumentu, jaki przemawiał za wyborem technologii SWECO, czyli ponownego użytkowania powierzchni eksploatacyjnej składowiska i rozwiąże problem grudziądzkich odpadów na wiele lat.

Pryzmy w Zakurzewie powstają na bieżąco, na bieżąco poprawiane są niedociągnięcia konstrukcyjne i eksploatacyjne. Zerwanie kontraktu ze SWECO spowodowało, że zarówno właściciel jak i eksploatacja muszą się uczyć na błędach. Dobra współpraca pomiędzy nimi przyczynia się do modyfikacji technologii i dostosowania jej do bieżących potrzeb i warunków lokalnych.

Uważamy, że błędne było założenie przyjmowania całości surowego odpadu, do pryzm kierowany winien być przesegregowany odpad mokry o możliwie największej zawartości frakcji organicznej, w tym również nadmiar osadu czynnego z projektowanej oczyszczalni ścieków. Wyeliminowałoby to uciążliwą rozbiórkę pryzm. Należy jednak pamiętać o zmianie morfologii odpadów po okresie transformacji państwa, od etapu badań, na przełomie lat 80 i 90, zawartość tworzyw sztucznych stale wzrasta a frakcji organicznej maleje. W związku z powyższym urządzenia do segregacji, które zgodnie z dokumentacją winny być wykorzystywane do rozbiórki pryzm, powinny być naszym zdaniem zastosowane do eliminacji balastu już na etapie budowy pryzm. Niezbędne wydaje się też rozszerzenie programu selektywnej zbiórki i prowadzenie jej na wzór zachodni. Dałoby to możliwość pełnego wykorzystania tej interesującej technologii z korzyścią zarówno dla środowiska jak i dla mieszkańców.

6. LITERATURA

- [1] WOJCIECHOWSKI Andrzej: *Zintegrowane systemy gospodarki odpadami komunalnymi. Zagadnienia techniczno-organizacyjne*. Fundusz Współpracy Warszawa (1998)
- [2] *Wysypisko śmieci Grudziądz. Podręcznik eksploatacji*. SWECO Consalting Worldwide Sztokholm (1996)
- [3] *Wysypisko śmieci Grudziądz. Dokumentacja techniczna*. SWECO Consalting Worldwide Sztokholm (1995)
- [4] NOWAKOWSKI Stefan: *Odgazowanie w procesie rekultywacji*. Przegląd Komunalny 6/2000

Wojciech JANKA

Zakład Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej Zielona Góra

UNIESZKODLIWIANIE ODPADÓW W ZIELONEJ GÓRZE - SYSTEM „PREKO ZG”

Gospodarka odpadami to zespół kompleksowych i zintegrowanych działań wobec problemu ilości i jakości odpadów komunalnych, użytkowych i przemysłowych powstających na określonym obszarze - podejmowanych w celu ich minimalizacji a następnie gromadzenia, transportu, unieszkodliwiania i zbytu oraz funkcjonujących w aktualnym systemie prawnym, ekonomicznym, technicznym i edukacyjnym wspartym kontrolą, nadzorem i akceptacją społeczną.

PROGRAMY GOSPODARKI ODPADAMI JAKO PODSTAWA DZIAŁAŃ SAMORZĄDÓW GMIN NA RZECZ OCHRONY ŚRODOWISKA PRZED ODPADAMI

Definiując gospodarkę odpadami jako zespół kompleksowych i zintegrowanych działań w obszarze odpadów komunalnych, użytkowych i przemysłowych, powstających w wyodrębnionej przestrzeni terytorialnej, realizowanych we wzajemnym powiązaniu na poziomie gromadzenia, transportu, utylizacji i zbytu, i funkcjonujących w systemie organizacyjnym, prawnym, technicznym, edukacyjnym oraz kontroli i nadzoru, wspartym akceptacją społeczną - widać, że w materii tej nie można poruszać się po omacku, przypadkowo, że wymaga ona szczegółowego zaprogramowania na poziomie gminy, powiatu i województwa w powiązaniu z zaprogramowaniem na poziomie regionu i kraju. Obowiązek działania gmin w oparciu o program znalazł wyraz w obecnej ustawie o odpadach. Zobowiązuje się w niej także wytwórców odpadów powstających w wyniku działalności gospodarczej do przedłożenia staroście lub wojewodzie celem zatwierdzenia programów zakładowych. W projekcie nowej ustawy obowiązkiem posiadania programów zobligowane zostaną nie tylko gminy ale także pozostałe samorządy tzn. powiaty i województwa.

Namiastką gminnych programów gospodarki odpadami są obecnie powszechnie stanowione przez poszczególne Rady Miast czy Gmin, różnie nazywane plany, regulaminy, zasady gospodarki odpadami w gminie. Sprowadzają się one na ogół do zbioru praw i obowiązków wytwórców odpadów oraz przewoźników nieczystości stałych i płynnych. Mają głównie charakter działań bieżących, rzadko nakreślają kierunek działań perspektywicznych.

Podstawą opracowania programów gminnych powinny być programy powiatowe czy ponad powiatowe. To starostowie powinni w porozumieniu z wójtami i burmistrzami proponować docelowe rozwiązywanie problemu odpadów na terenie przynależnych gmin.

Powiatowe program gospodarki odpadami powinien odpowiedzieć, jak docelowo zajmować się będziemy na terenie gmin wszystkimi rodzajami odpadów tj. komunalnymi powstającymi w wyniku działalności bytowej mieszkańców i działalności gospodarczej o charakterze użyteczności publicznej, przemysłowymi oraz użytkowymi, które stanowią możliwość wtórnego ich wykorzystania. Szczególnie należy opisać sposób postępowania z odpadami szpitalnymi czyli niebezpiecznymi bakteriologicznie oraz niebezpiecznymi chemicznie jak baterie, akumulatory czy stare lekarstwa. W grupie odpadów użytkowych nie można zapomnieć o wyeksploatowanych samochodach oraz sprzęcie domowym, jak lodówki czy telewizory. Nie mając jeszcze krajowego programu postępowania z odpadami przemysłowymi, szczególnie niebezpiecznymi, gminy lub związki gmin winne przewidzieć możliwość ich deponowania w niewielkich obszarowo, lecz w sposób szczególny zaizolowanych składowiskach ostatecznych lub przejściowych.

Po przeprowadzeniu podziału rodzajowego odpadów kolejnym elementem programu powinno być opisanie postępowania z nimi na poziomie gromadzenia, transportu, utylizacji i zbytu. Przyjęcie modułu gromadzenia odpadów uwarunkowane jest nie tylko charakterem zabudowy oraz rozległością obsługiwanego terenu i odległością od miejsca zdeponowania lub zbycia odpadów, lecz również od ustalenia, które z odpadów użytkowych decydujemy się zbierać selektywnie, a które nadal gromadzić będziemy w pojemnikach na odpady komunalne niewyselekcjonowane. Nie jest celowym prowadzenie selektywnej zbiórki wszystkich możliwych rodzajów odpadów użytkowych. O tym, jakie odpady zbieramy oddzielnie, powinna zdecydować przyjęta technologia utylizacji, a także możliwość ich zbytu i wtórnego przetworzenia. Obsługując tereny nieekonomicznie oddalone od miejsca ostatecznego deponowania lub zbytu odpadów, celowym jest utworzenie stacji pośrednich w postaci usytuowania stacji przeładunkowych czy w przypadku gmin wiejskich obsługiwanych przez miasto, gminnych punktów gromadzenia odpadów. Ważnym elementem modułu gromadzenia jest nie tylko przyjęcie typu i rodzaju pojemnika, ale również ustalenie kolorystyki. Dla wydzielonego rodzaju odpadu powinien być przypisany kolor. Modułowi gromadzenia przyporządkowany musi być moduł transportu. Przyjęcie typu pojazdów to wynik przyjęcia rodzaju pojemnika. Przyjęcie ilości i wielkości pojazdów to wynik założonej organizacji pracy. Niezbędnym elementem wyposażenia każdego pojazdu powinien być tachograf. Pozwala on właściwie znormować i rozliczyć wykonywaną pracę.

Utylizacja odpadów w kraju powoli, ale rozwija się. Poza kilkoma pracującymi typowymi kompostowniami zakładającymi, że celem podstawowym jest uzyskanie kompostu jako produktu handlowego, tylko kompostownia w Zielonej Górze zaprogramowana jest w systemie gospodarki odpadami jako stacja utylizacji surowych odpadów komunalnych. Jej celem nadrzędnym nie jest produkcja kompostu, lecz takie tlenowe zmineralizowanie zanieczyszczeń stałych, aby masa odpadowa kierowana na składowisko ostateczne (inertne) zachowywała się jak odpad składowany naturalnie po 15-20 latach przebywania w hałdzie wysypiskowej. Oznacza to, że zutylizowane

odpady zmniejszą objętość do 30 % masy wyjściowej (wliczając w to segregację), pozbawione są w 80 % związków organicznych, które w wyniku fermentacji tworzyłyby metan, gaz wysypiskowy mający wpływ między innymi na pogłębianie się efektu cieplarnianego. Eliminując metan samo wysypisko czyni się bezpiecznym, gdyż likwiduje się samozapłon i występowanie dymów. Przerobiony tlenowe w temperaturze 70 °C odpad czyni się bezpiecznym sanitarnie dla obsługi składowiska. Składowisko pozbawia gryzoni i żerującego ptactwa. Poprzedzając składowisko zakładem utylizacji wydłużamy trzykrotnie jego okres eksploatacji oraz co ważne, minimalizujemy wymóg drogiego zabezpieczenia podłoża przed zanieczyszczeniem wodami odciekowymi. W rachunku ogólnym zmniejszamy o połowę nakłady inwestycyjne.

Gospodarki odpadami nie tworzy jednak jedynie algorytm zadań inwestycyjnych. Kolejnymi bardzo ważnymi elementami systemu to organizacja i zarządzanie miejską gospodarką odpadami. I tu należy zwrócić uwagę na umiejscowienie zarządzającego systemem oraz wykonawców poszczególnych jego części. Gmina ma obowiązek stworzenia warunków do właściwego gospodarowania odpadami, stąd gmina-powiat muszą jednoznacznie wyznaczyć i umiejscowić organizatora i realizatorów przyjętego programu. W zależności od wielkości miasta - gminy zarząd może funkcjonować w formie wydzielonej, samoistnej lub w mniejszych miastach w dotychczasowych zakładach oczyszczania działających w formie wydzielonych czy wielobranżowych zakładów budżetowych lub jednoosobowych spółek gminy. Zarząd prowadzi ten, kto jest posiadaczem wszystkich umów na wywóz, utylizację i oczyszczanie miasta. Inaczej zarządzający to ten, kto pobiera wszystkie opłaty i dysponuje nimi, sterując działaniami wg przyjętego programu. To on decyduje, które części systemu wykonuje siłami własnymi czyli gminy, a które siłami obcymi np. w formie zakładów prywatnych. Gmina zatwierdzając statut swojej jednostki, nakazuje jej świadczenie usług użyteczności publicznej w jej imieniu i na jej rachunek. Tym samym gmina nakłada na siebie obowiązek wspierania działań⁴ gospodarczych jednostki, działaniami administracyjnymi. W systemie gospodarki odpadami prawną formą działania administracji obok nadzoru i kontroli przestrzegania zasad programu będzie stosowanie nakazów i zobowiązań administracyjnych. W module kontroli istotne miejsce musi zająć policja municypalna. Działania nakazowe i karne musi poprzedzać edukacja w zakresie ochrony środowiska przed odpadami. Uznając, że realizacja systemu gospodarki odpadami to proces długofalowy, stąd głównym adresatem kształtowania zachowań i nawyków proekologicznych powinna być młodzież szkolna. Edukacja ekologiczna musi być wpisana jako stały element programu i funkcjonować w formie wydzielonej, samoistnej jednostki gminy lub co uważam za właściwsze, wchodzić w strukturę jednostki zarządzającej systemem.

Realizację poszczególnych składników systemu wiąże sposób finansowania oddzielny dla wykonywania zadań bieżących i inwestycyjnych. Powszechnie przyjmuje się, że to bariera finansowa jest głównym hamulcem wstrzymującym proces działań tą częścią gospodarki. Prawdziwym jednak powodem spowolnionego tempa działań to brak właściwego ustawodawstwa i niski lub bardzo niski poziom ogólnej wiedzy o gospodarowaniu odpadami.

Gmina dysponując profesjonalnie wykonanym, uwzględniającym polskie realia programem gospodarki odpadami stanowiącym równocześnie program ochrony

środowiska przed odpadami, po jego uchwaleniu, nie powinna powiedzieć, że nie wie i nie potrafi rozwiązać problemu. Do zadań kolejnych rad należeć będzie konsekwentne rozliczanie z przyjętej uchwały programowej, której horyzont należy wyznaczyć na nie mniej niż 30 lat. Program gospodarki odpadami powinien stanowić integralną część strategii rozwoju gminy.

Dzisiaj gospodarka odpadami komunalnymi to zadanie własne gminy, czy jednak nie czas aby zadanie to przypisać powiatom. Gmina gminie nie równa. Gminy stanowiące powiaty grodzkie są w stanie z tego zadania wywiązać się należycie, ale gminy wiejskie. Gospodarki odpadami nie należy rozpoczynać od gminy, należy ją organizować poczynając od poziomu powiatu.

GOSPODARKA ODPADAMI - SYSTEM „PREKO ZG” ZIELONA GÓRA

Ustawy o odpadach oraz utrzymaniu czystości i porządku w gminach jednoznacznie nakładają na gminy obowiązek posiadania programu oraz stworzenia warunków organizacyjnych i technicznych niezbędnych do zapewnienia ochrony środowiska przed odpadami. Są one w szczególności zobowiązane zapewnić budowę składowisk odpadów komunalnych oraz urządzeń do ich unieszkodliwiania. Odpowiadają za prawidłową eksploatację tych urządzeń. Zadania gminy rozszerzono ponadto o obowiązek inicjowania i organizowania powszechnej zbiórki odpadów, zwłaszcza pokonsumpcyjnych, w celu gospodarczego ich wykorzystania. Obowiązkiem bezpiecznego składowania lub utylizacji odpadów przemysłowych ustawodawca obarczył producenta tych odpadów. Gmina powinna jednak uwzględniać w projektach planów zagospodarowania przestrzennego zadania z zakresu ochrony środowiska przed odpadami nie tylko komunalnymi i użytkowymi, lecz także powstających w wyniku prowadzonej działalności gospodarczej, w produkcji i usługach.

Dzisiaj nie ma już wątpliwości co do metodyki rozwiązywania problemu odpadów. Odpady należy traktować w sposób kompleksowy i zintegrowany. Podstawą działań jest posiadanie gminnego systemu gospodarki odpadami. System gospodarki odpadami powinien zawierać:

- organizację gminnej gospodarki odpadami,
- system gromadzenia, transportu i utylizacji odpadów,
- kształtowanie świadomości ekologicznej,
- system kontroli i nadzoru,
- sposób finansowania przedsięwzięć, gminne zasady gospodarki odpadami.

Przykładem takiego podejścia do problemu odpadów może być Zielona Góra. Przyjęty system nosi nazwę „PREKO ZG”.

Jest on podsumowaniem dziesięcioletniej pracy nad realizacją jego poszczególnych elementów. Pierwszym krokiem było zinventaryzowanie w 1983 r. w „Raporcie o stanie środowiska naturalnego miasta Zielonej Góry” składników związanych z gromadzeniem, transportem i deponowaniem odpadów komunalnych i

przemysłowych powstających w granicach miasta. Podsumowanie zakończone wnioskami doraźnymi i długoterminowymi stanowiło podstawę opracowania harmonogramu realizacyjnego, będącego załącznikiem do Uchwały Rady Miejskiej w sprawie miejskiego programu ochrony środowiska.

Ograniczona powierzchnia dotychczasowego wysypiska oraz odmowa zlokalizowania nowego poza granicami miasta to podstawowe powody podjęcia decyzji o budowie komunalnej kompostowni odpadów. Decyzja o budowie kompostowni wymusiła dokonanie formalnego rozdzielenia odpadów komunalnych od przemysłowych. Ponieważ za odpady powstające w wyniku działalności gospodarczej odpowiada ich producent, stąd z inicjatywy Urzędu Miejskiego 16 największych zakładów miejskich powołało spółkę prawa handlowego pod nazwą „Spółka Przemysłowa z o.o. do Składowania i Unieszkodliwiania Odpadów” (1989 r.). Celem spółki było rozwiązanie problemu bezpiecznego zagospodarowania odpadów poprodukcyjnych.

Równocześnie miasto doczekało się oddania nowej, wykonanej na miarę potrzeb, bazy usług komunalnych. Baza umożliwia sprawne przeprowadzenie remontów sprzętu i pojazdów służących oczyszczaniu miasta i transportowaniu odpadów. Posiada dobre zaplecze magazynowo - składowe, garażowe i socjalno - biurowe.

Dysponując określoną bazą materialną i organizacyjną można było powiązać swobodnie dotychczas funkcjonujące elementy i po uporządkowaniu nadać im charakter systemowy.

Ustalony algorytm miejskiej gospodarki odpadami ujął ją w sposób kompleksowy i zintegrowany.

Kompleksowość - to objęcie obszarem działania wszystkich odpadów powstających na terenie jednostki jaką jest; miasto, bez względu na miejsce ich powstawania. Mówiąc, że zajmujemy się na terenie miasta odpadami w sposób kompleksowy mówimy, że zajmujemy się odpadami komunalnymi, przemysłowymi i użytkowymi równocześnie.

Zintegrowanie systemu, to ustalenie wielkości bilansowych, organizacji i technologii na poziomie gromadzenia, transportu, utylizacji i zbytu odpadów.

Wyodrębnione w ten sposób moduły wymagają szczegółowego rozpisania na etapie planowania, programowania, projektowania, wykonawstwa i eksploatacji. Dokonano tego w przypadku Zielonej Góry.

Spuścizną gospodarki planowanej centralnie minionego okresu jest zrealizowanie tylko dwóch modułów stanowiących kompleksową i zintegrowaną gospodarkę odpadami tj podsystemów gromadzenia i transportu odpadów komunalnych. Wdrażanie pozostałych ogniw ułatwia z pewnością decentralizacja zarządzania i rozwój przedsiębiorczości.

Szczególnego znaczenia nabiera problem utylizacji odpadów. Model zielonogórski wydaje się w tym względzie godny uwagi. Podejmując decyzję o budowie komunalnej kompostowni odpadów kierowano się przede wszystkim dwoma względami. Szybkim pomniejszaniem się pojemności eksploatowanego wysypiska śmieci i odmową deponowania odpadów poza granicami miasta. W tym momencie nie zauważano jeszcze złożoności zagadnienia. Kompostownia wymusiła oddzielne zajęcie się problemem odpadów użytkowych i przemysłowych, stała się początkiem w podejmowaniu kolejnych kroków systemowych.

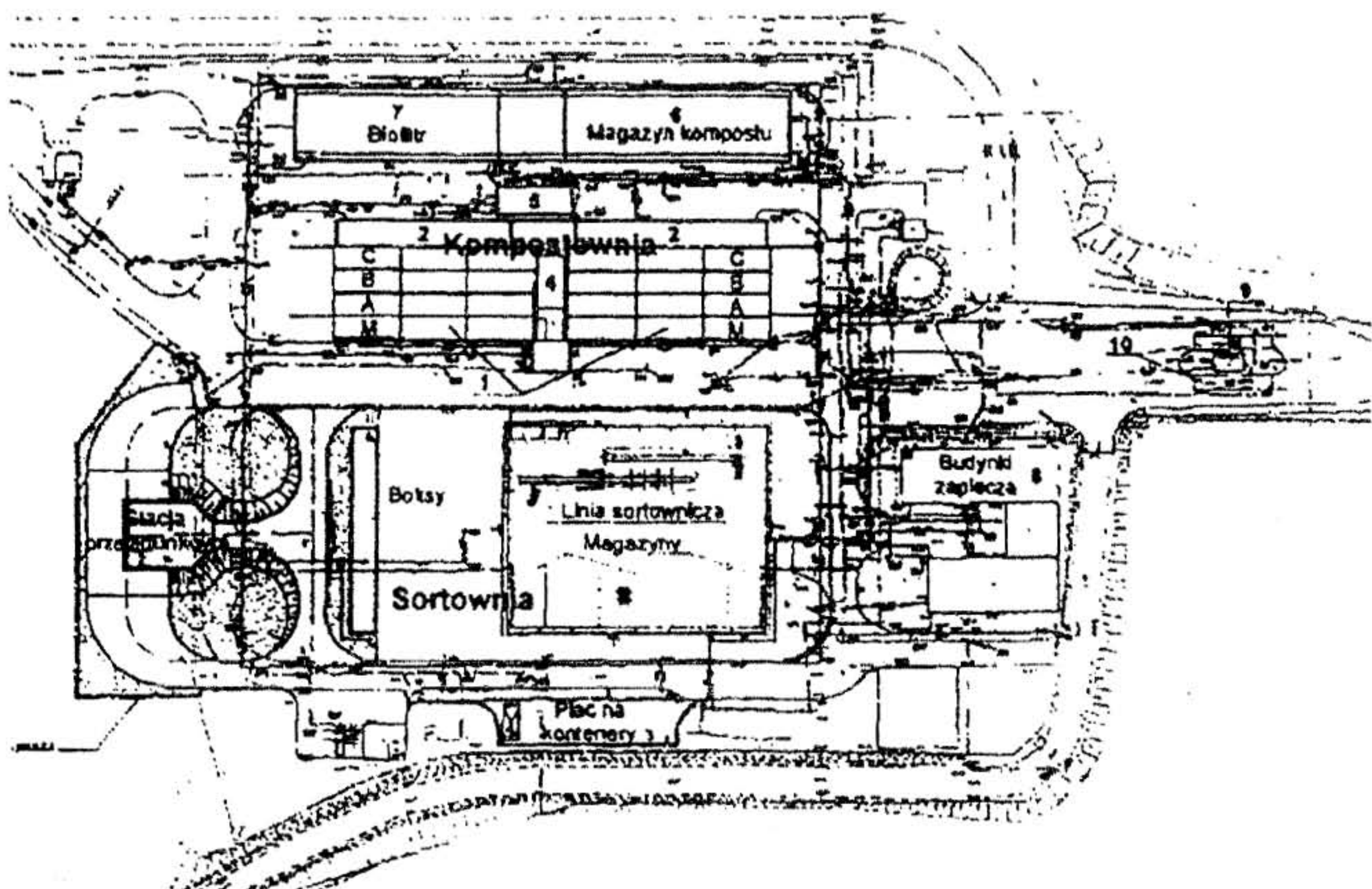
Utylizując odpady poprzez kompostownie w komorach otwartych pomniejszamy, co najmniej o połowę objętość odpadów deponowanych ostatecznie na wysypisku inertnym. Kompostowanie ogranicza emisję metanu do atmosfery, balast czyni niegroźnym chemicznie dla wód, samo wysypisko pozbawia je ptactwa i gryzoni. Wtórne wykorzystanie odpadów użytkowych i kompostu to podstawowa zasada gospodarki odpadami, zasada recyklingu.

Do odzyskania odpadów użytkowych ustawiliśmy na terenie miasta 900 różnokolorowych pojemników o pojemności 1,1 m³ na makulaturę, szkło, tworzywa sztuczne, tekstylia, a ponadto kontenery na odpady wielkogabarytowe oraz pojemniczki i worki na odpady niebezpieczne jak baterie i leki, określiliśmy sposób zbierania surowców. W drugim etapie, celem podwojenia odzysku surowców wtórnych, należy zwiększyć ilość pojemników, wprowadzić „przezroczyste worki” i wybudować sortownię odpadów użytkowych. Przyjęte rozwiązania organizacyjne i techniczne zapożyczono z wprowadzonego w Niemczech systemu dualnego. Odpady niebezpieczne pochodzenia przemysłowego i komunalnego dające się rozdzielić przyjmowane będą do składu magazynowego a następnie przewożone do ostatecznego unieszkodliwienia w specjalistycznych instalacjach na terenie kraju. Odpady zmieszane przewiduje się zdeponować na składowisku przejściowym do czasu ich przewiezienia na krajowe składowisko odpadów niebezpiecznych.

UNIESZKODLIWIANIE ODPADÓW

Odpady komunalne

Kompostowaniu poddawane są odpady komunalne oraz część osadów ściekowych z zielonogórskiej oczyszczalni ścieków. Odpady dowożone na kompostownię wyładowywane są bezpośrednio do zbiorników magazynowych, które stanowią pierwszy element ciągu technologicznego



Plan sytuacyjny kompostowni

1 - zespoły ciągów kompostowych: M - zbiorniki magazynowe, A, B, C - komory kompostowania. 2 - zasobnie (Z). 3 - zbiornik na ścieki. 4 - wentylatorownia. 5 - budynek obróbki kompostu. 6 - magazyn kompostu. 7 - biofiltr. 8 - budynek administracyjny i pomieszczenia gospodarcze. 9 - wagi. 10 - portiernia

Ciąg technologiczny składa się z 4 komór: zbiornika magazynowego "M" oraz zbiorników oznaczonych literami "A", "B" i "C". Wybudowano 6 ciągów technologicznych zgrupowanych w dwa zespoły, po trzy ciągi. Do każdego zespołu przylega jedna zasobnia na ustabilizowane biologicznie odpady.

Kompostowane odpady, w zbiornikach magazynowych i komorach "A", "B" i "C", są napowietrzane przez odsysanie gazów. Gazy schładzane są w wymienniku ciepła i przetłaczane przez biofiltr wypełniony kompostem. Odzyskiwane ciepło wykorzystywane jest do ogrzewania świeżego powietrza, kierowanego do podsuszania kompostu w zasobniach, a w okresie zimowym również do ogrzewania budynku obróbki kompostu. Dosuszanie kompostu w zasobniach prowadzone jest gdy jego wilgotność jest wyższa niż 35%.

Odpady z zasobni kierowane są na linię oczyszczania kompostu, która składa się z następujących procesów jednostkowych:

- odsiewanie balastu w sicie obrotowym o prześwicie 40 mm,
- oczyszczanie kompostu ze szkła w separatorze części twardych,
- przesiewanie oczyszczonego kompostu na sicie wibracyjnym o prześwicie 20 mm.

Odsiew zawracany jest do komór kompostowych lub wykorzystywany na potrzeby własne, przesiew rozdzielany jest na sitach wibracyjnych na 3 frakcje: 13-20 mm, 7-13

mm i < 7 mm, które stanowią zasadniczy produkt handlowy, i kierowane są do magazynu kompostu.

Balast, po wydzieleniu metali żelaznych za pomocą separatora elektromagnetycznego, oraz części twarde usuwane są na składowisko balastu i odpadów przemysłowych kompatybilnych do odpadów komunalnych.

Parametry technologiczne procesu kompostowania odpadów na kompostowni badano w okresie od lutego do kwietnia br. Badaniami objęto odpady komunalne oraz produkty kompostowania.

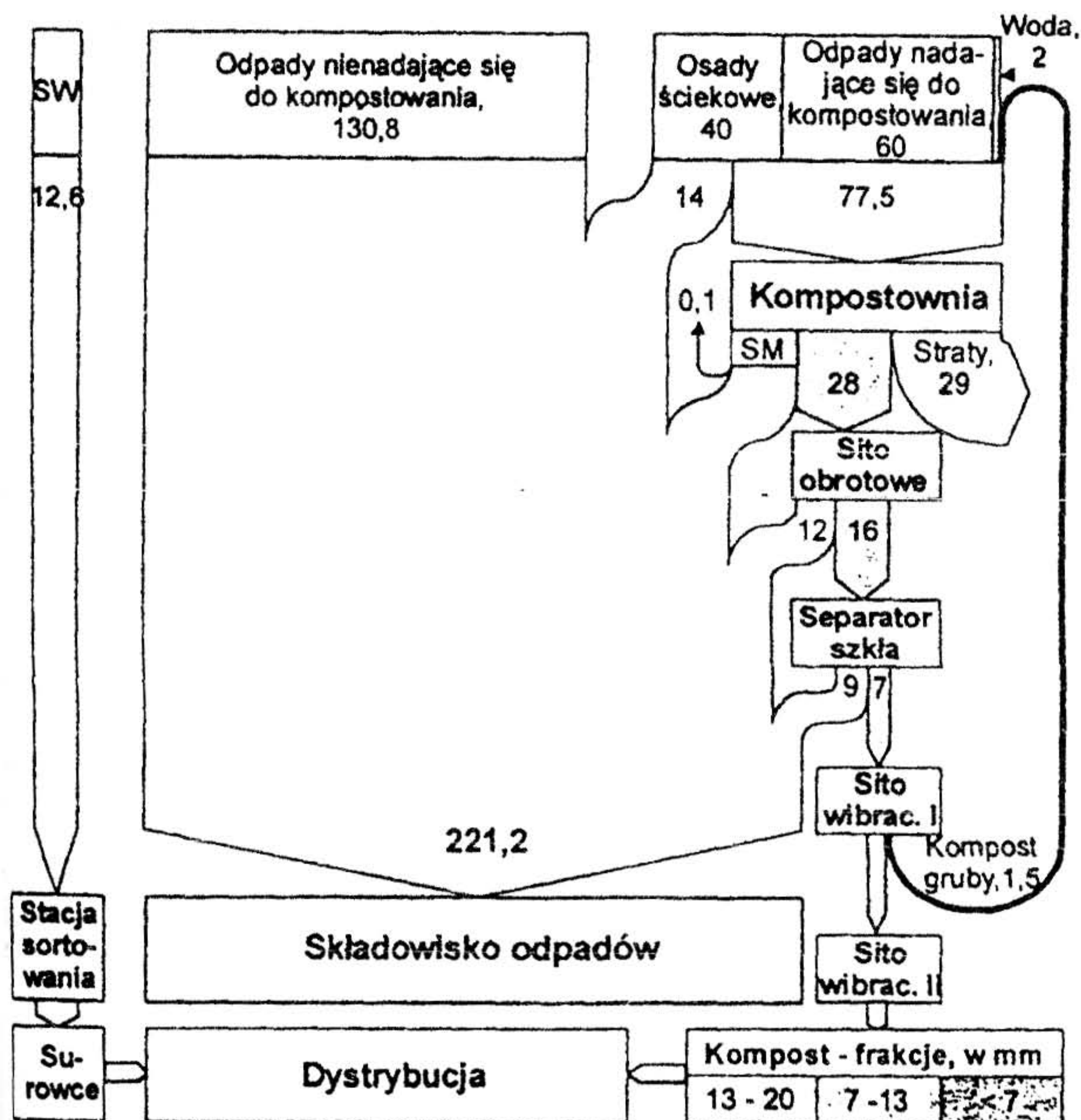
Zakres pomiarów obejmował:

- bilans masowy procesu,
- analizę morfologiczną surowców i produktów; wybierano ręcznie papier i kartony, szkło i ceramikę, tworzywa sztuczne, metale, tekstylia, drewno oraz inne składniki,
- skład chemiczny surowców i produktów; oznaczano: wilgotność, substancje org. (straty prażenia w temperaturze 550°C), azot og., fosfor og., potas, cynk, miedź, nikiel, ołów, kadm i chrom.

Komory magazynowe wypełniane były odpadami i osadami sukcesywnie w miarę ich przywozu. Napowietrzanie odpadów rozpoczynano po wypełnieniu odpadami około połowy objętości komory. W komorach magazynowych odpady przetrzymywane były od 9 do 12 dni. Czasy leżakowania odpadów w kolejnych komorach ciągu technologicznego (A, B i C) mieściły się w granicach od 7 do 10 dni.

Bilans masowy procesu kompostowania w systemie KKO-100A dla miasta Zielonej Góry.

W ciągu doby przerabiał się około 60 Mg odpadów komunalnych i 14 Mg osadów ściekowych o uwodnieniu ok. 65 %, z których uzyskuje się 51,5 Mg odpadów przekompostowanych. Część mieszaniny kompostowej (średnio 28 Mg) kierowana jest na linię sortowania, a pozostała ilość usuwana jest bezpośrednio na składowisko. Końcowymi produktami procesu oczyszczania kompostu są: frakcja gruba > 40 mm (balast)-12 Mg, części twarde - 9 Mg, oraz komposty o uziemieniu: < 7 mm- 1,1 Mg, 7-13 mm-3,6 Mg i 13 -20mm 0,8Mg.



Schemat unieszkodliwiania odpadów w Zielonej Górze, bilans dobowy w Mg, 1998r.

Tabela 1

Ilości dobowe oraz skład morfologiczny surowców i produktów w kompostowni w Zielonej Górze

Wskaźniki, składniki	Odpady komunalne	Surowiec do kompostowania	Odpady po kompostow.	Balast	Części twarde
Ilość odpadów, Mg/db	60	77,5	28	12	9
Wilgotność, %	51,1	56,62	27,8	21,	26,
Skład morfologiczny, % wag.					
Frakcja organiczna	53,2	63,5	39	15,	41,
Papier i tektura	23,1	18,0	12,8	19,	8,8
Tworzywa sztuczne	7,9	6,2	16,6	35,	4,2
Tekstylia	3,2	2,5	7,0	16,	0,1
Szkło	7,6	5,9	15,0	4,8	40,
Metale	1,9	1,5	4,0	9,0	0,4
Pozost. nieorg.	3,1	2,4	6,2	0,0	7,7
Suma	100	100	100,6	100	102

Odpady komunalne z miasta Zielonej Góry zawierały małe ilości frakcji drobnej (około 5%). W odpadach dominowały składniki o wymiarach większych niż 120 mm (37,5%), wysoki był również udział frakcji grubej (32,0%).

Odpady zawierały duże ilości składników organicznych, średnio 53,2 %. Największe ich ilości występowały w frakcji średniej (ok. 72 %). Papier i tektura stanowiły 23,1 % masy odpadów, tworzywa sztuczne 7,9 % oraz szkło 7,6 %. Wilgotność odpadów była wysoka i wynosiła średnio 53,5 %. Odpady zawierały stosunkowo duże ilości azotu (0,92 % s.m.) i fosforu (0,75 % s.m.).

Podczas kompostowania występowało bardzo intensywne odparowanie wody z odpadów. Wilgotność masy kompostowej zmniejszała się pomimo nawadniania jej odciekami. Wilgotności masy w kolejnych komorach wykazywały duże zróżnicowanie i kształtowały się następująco:

- komora "M"; od 48,4 do 60,2%, średnio 56,6%,
- komora "A"; od 40,3 do 57,5%, średnio 47,8%,
- komora "B"; od 44,5 do 48,1%, średnio 44,0%,
- komora "C"; od 26,5 do 42,7%, średnio 39,5%.

W odpadach po kompostowaniu frakcja organiczna stanowiła 39,0 %, dający się wydzielić papier i tektura - 12,8 %, tworzywa sztuczne - 16,6 %, szkło - 15,0 % i tekstylia 7,0 %.

Głównym składnikiem frakcji grubej (balast) były tworzywa sztuczne (35,1 %).. W znacznych ilościach w odpadzie występowały również: papier i tektura (19,6 %), tekstylia (16,0 %) frakcja organiczna (15,5 %) oraz metale (9,0 %). Podstawowymi składnikami "części twardych" były frakcja organiczna 41 % wag. i szkło 40 % wag.

8,8 % masy odpadu stanowiły kawałki grubego papieru i kartonu i 7,7 % składniki nieorganiczne (kamienie, gruz).

Odpady Użytkowe

Selektywną zbiórkę surowców wtórnych rozpoczęto wdrażać w Zielone Górze w 1992 roku. Dzięki niej wydłuży się czas eksploatacji wysypiska oraz poprawi się wydajność kompostowni i jakość produkowanego kompostu. Osiągnięcie tych efektów nie będzie możliwe bez rozbudowy urządzeń sortowania selektywnie zbieranych odpadów użytkowych. W chwili obecnej sortowanie prowadzone jest z placu składowego w zaadaptowanej do tego celu wiacie. Obiekt wyposażony jest w prasę - paczkoarkę i przenośną rozdrabniarkę. Są to urządzenia o niskiej wydajności, obsługiwane ręcznie. Prowizoryczna sortownia ma niewielką przepustowość. Stąd konieczność budowy kolejnych obiektów umożliwiających docelowo zredukować objętość odpadów komunalnych o 29,5%.

Przedmiotem przygotowanej projektowo inwestycji jest budowa Stacji Sortowania Odpadów Użytkowych. Jej zrealizowanie pozwoli uporządkować i rozszerzyć obecnie realizowaną gospodarkę surowcami wtórnymi na terenie miasta i zapoczątkować budowę wojewódzkiego systemu gospodarki odpadami surowcowymi. Zasadniczą funkcją budowanego Zakładu będzie przyjmowanie selektywnie zbieranych u źródła surowców wtórnych, a następnie wysortowanie z nich jednorodnych surowców pozbawionych składników zanieczyszczających, na które stworzony będzie rynek zbytu. Podstawowymi elementami zakładu będą linia sortownicza do sortowania głównie makulatury i tworzyw sztucznych oraz urządzenia do rozdrabniania, prasowania i paczkowania odzyskiwanych surowców. Obok powstanie stacja przeładunkowa dla transportu tranzytowego.

Projektowana Stacja Sortowania Odpadów Użytkowych stanowić będzie obiekt dopełniający system gospodarki odpadami komunalnymi i przemysłowymi w Zielonej Górze. Przejmie ona dotychczasową funkcję obrotu surowcami wtórnymi, wykonywaną przez Okręgowe Przedsiębiorstwo Surowców Wtórnych.

Poprzez realizację przedsięwzięcia inwestycyjnego zakłada się osiągnięcie następujących efektów:

- podwojenie odzysku odpadów surowcowych,
- przetworzenie selektywnie zbieranych odpadów użytkowych w jednorodne surowce o większej wartości rynkowej,
- zmniejszenie strumienia odpadów usuwanych na wysypisko,
- poprawienie jakości odpadów kierowanych do kompostowni,
- stworzenie podstaw nowoczesnego systemu gospodarki odpadami przydatnymi do wykorzystania.

Ogólny program inwestycji p.t.: „Stacja Sortowania Odpadów Użytkowych” obejmuje budowę:

- hali technologicznej sortowania odpadów użytkowych z linią sortowniczą,
- placu na kontenery,
- boksów magazynowych na surowce wtórne,
- stacji przeładunkowej odpadów użytkowych.

Zakłada się, że Stacja pracować będzie na 1 zmianę przez 5 dni w tygodniu. Na linii sortowniczej sortowana będzie makulatura i tworzywa sztuczne, przemienne.

Procesy jednostkowe obejmują:

- składowanie dowożonych odpadów przed segregacją w boksach magazynowych,
- sortowanie odpadów,
- prasowanie wyselekcjonowanych surowców,
- rozdrabnianie wyselekcjonowanych surowców i balastu,
- paczkowanie przed zbytem,
- magazynowanie surowców,
- procesy uzupełniające:
- rozbieranie na części odpadów wielkogabarytowych
- rozdrabnianie odpadów drewnianych.

Zaplecze socjalne i techniczne projektuje się jako wspólne dla Stacji Sortowania Odpadów i Kompostowni Odpadów Komunalnych.

Stacja Sortowania Odpadów Użytkowych przyjmować będzie do sortowania zbierane selektywnie odpady:

- makulaturę,
- tworzywa sztuczne,
- szkło w postaci butelek i stłuczki szklanej,
- odpady drewniane w postaci mebli i części odpadów budowlanych, palet z wyłączeniem trocin,
- odpady gumowe - głównie opony i dętki,
- tekstylia poza czyściwem.

Możliwe będzie również w przyszłości pozytywne sortowanie, na linii sortowniczej, odpadów suchych zbieranych w workach.

Odpady gospodarcze

Do roku 1994 rozwiązaniem problemu odpadów przemysłowych zajmowała się specjalnie utworzona w 1988 roku Spółka Przemysłowa do Składowiska Odpadów. Obecnie zadanie to przyjął na siebie Zakład Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej który organizuje kompleksową gospodarkę odpadami dla miasta.

Pod pojęciem odpady przemysłowe w przypadku Zielonej Góry, która nie posiada wielkiego przemysłu należy rozumieć odpady powstające w wyniku działalności wytwórczej i usługowej, z wyłączeniem odpadów użytkowych, ze szczególnym uwzględnieniem odpadów niebezpiecznych. W celu rozwiązania problemu zaprojektowano na terenie bezpośrednio przylegających do Zakładu Utylizacji Odpadów w Raculi i składowiska odpadów przekompostowanych oraz przemysłowych spoza listy odpadów niebezpiecznych dodatkowo:

- magazyn wraz ze stacją przeładunkową odpadów niebezpiecznych,
- składowisko odpadów niebezpiecznych.

Odpady niebezpieczne

Realizacja tej inwestycji pozwoli na uzupełnienie systemu gospodarki odpadami komunalnymi z terenu Zielonej Góry i zmniejszenie potencjalnych zagrożeń płynących ze strony odpadów niebezpiecznych zarówno dla środowiska naturalnego jak i zdrowia i życia człowieka.

Wprowadzenie selektywnej zbiórki odpadów niebezpiecznych jako frakcji odpadów komunalnych oraz prawidłowa gospodarka tymi odpadami w obrębie zakładów rzemieślniczych, usługowych i przemysłowych muszą zostać poprzedzone ustaleniem miejsca i sposobu ich unieszkodliwiania. Podstawą stworzenia rozwiązań systemowych będą szczegółowe zasady usuwania, wykorzystywania lub unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych, które ma wydać Minister Gospodarki, w formie rozporządzenia. Stacja Przeladunkowa Odpadów Niebezpiecznych stanowić będzie miejsce przyjmowania odpadów niebezpiecznych wysegregowanych metodą „u źródła” z odpadów komunalnych przez mieszkańców oraz odpadów niebezpiecznych pochodzących z drobnego przemysłu, usług, handlu, obiektów użyteczności publicznej i obsługi ludności. Zadaniem stacji będzie przyjęcie odpadów, ich segregacja asortymentowa oraz przekazanie do unieszkodliwiania po zgromadzeniu ilości odpadów uzasadniających ich transport do odbiorców. Przyjęto okres 1 roku jako maksymalny horyzont czasowy składowania poszczególnych rodzajów odpadów. Poprzez realizację przedsięwzięcia inwestycyjnego zakłada się osiągnięcie następujących efektów:

- stworzenie podstaw systemu unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych,
- zmniejszenie ilości i szkodliwości odpadów kierowanych do składowania na składowisku komunalnym,
- stworzenie mieszkańcom oraz małym zakładom handlowym, usługowym i przemysłowym możliwości bezpiecznego dla środowiska pozbywania się odpadów niebezpiecznych.

Magazyn odpadów niebezpiecznych

Powierzchnia obiektów magazynu i stacji przeładunkowej odpadów niebezpiecznych to ok. 1180 m². Podstawowy obiekt stacji przeładunkowej to hala o wymiarach 15 x 31 m w której zlokalizowano segment przyjmowania i segregacji odpadów oraz pomieszczenia magazynowe poszczególnych rodzajów odpadów niebezpiecznych. Przed wjazdem do hali znajduje się plac manewrowy o powierzchni ok. 450 m². W hali zlokalizowano następujące pomieszczenia:

- Segment przyjmowania i segregacji odpadów
- Pomieszczenie przyjmowania odpadów
- Pomieszczenie administracyjno-biurowe
- Pomieszczenie sortowania odpadów
- Pomieszczenie sanitarne i BHP

Składowisko Odpadów Niebezpiecznych

Składowisko Odpadów Niebezpiecznych stanowić będzie miejsce ostatecznego składowiska określonych rodzajów odpadów niebezpiecznych, których wspólną cechą będzie:

- stan stały,

- wzajemna niereaktywność,
- brak możliwości innego unieszkodliwiania lub wykorzystania.

Składowisko przeznaczone będzie głównie dla odpadów niebezpiecznych w ilościach masowych, włącznie z odpadami pochodzącymi z likwidacji skutków nadzwyczajnych zagrożeń środowiska. W tym kontekście Składowisko stanowić będzie obiekt o znaczeniu regionalnym.

- Poprzez realizację przedsięwzięcia inwestycyjnego zakłada się osiągnięcie następujących efektów:
- stworzenie podstaw systemu unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych,
- zmniejszenie ilości i szkodliwości odpadów kierowanych do składowania na składowisku komunalnym,
- stworzenie warunków bezpiecznego i nieuciążliwego dla środowiska składowania odpadów niebezpiecznych.

Do składowania przyjmowane będą odpady stałe, wzajemnie nie reaktywne o wilgotności nie przekraczającej 60%. W głównej mierze będą to:

- odpady stałe zaoliwione,
- czyściwo włókiennicze,
- odwodnione osady ściekowe z oczyszczania lub neutralizacji ścieków przemysłowych,
- odpady bitumiczne,
- odpady organiczne z myjni butelek,
- wkłady filtracyjne,
- pyły szlifiersko - polerskie,
- zużyte papiery ściernie (ZEFAM),
- poliuretany,
- niebezpieczne odpady gumowe i z tworzyw sztucznych.

Ogólny program inwestycji p.n. „Składowisko Odpadów Niebezpiecznych” obejmuje budowę:

- kwatery składowiska odpadów niebezpiecznych z przesuwym dachem i wszystkimi związanymi urządzeniami i instalacjami,
- zaplecza socjalno - biurowego ze zbiornikiem bezodpływowym na ścieki sanitarne,
- wewnętrznych dróg i placów utwardzonych,
- kanalizacji deszczowej, doprowadzenia wody i energii elektrycznej,
- ogrodzenia całego terenu inwestycji.

Składowisko Odpadów Niebezpiecznych zaprojektowano według następujących założeń:

- odpady składowane będą w szczególnych komorach, w całkowitej izolacji od środowiska naturalnego
- konstrukcja składowiska eliminować będzie powstawanie odcinków oraz zapewni kontrolę jego szczelności.

Składowisko Odpadów Niebezpiecznych zaprojektowano w formie budowli żelbetowej, zagłębionej, zlokalizowanej wzdłuż północno - zachodniej granicy terenu inwestycji. Składać się ono będzie z czterech komór (kwater) o wymiarach wewnętrznych 20 x 25 m w planie i głębokości 5 m, każda. Dno komór ukształtowano w formie dachu ze spadkiem 2%, w kierunku od środka do ścian zewnętrznych. Powierzchnia ścian wewnętrznych i dna wyłożona zostanie folią PEHD o grubości 2mm. Na dnie komór, na folii, wzdłuż ścian bocznych komór, ułożony zostanie drenaż z rur perforowanych z PE DN (Dn = 100 mm) do ujmowania wód ociekowych, które mogą potencjalnie wydzielać się ze składowanych odpadów. Powierzchnia dna zostanie pokryta warstwą filtracyjną ze żwiru, o uziarnieniu Dz == 2 do 8 mm, i średniej grubości 0,20m. Zaprojektowano odprowadzenie wód odciekowych do studzienek kontrolnych usytuowanych na zewnątrz komór. Pod dnem komór zabudowano drenaż kontrolny. Do eksploatacji wysypiska niezbędny będzie następujący zestaw sprzętu technologicznego:

- suwnica jednodźwigowa, bramowa,
- spychacz gąsienicowy mały (np. DT - 75), w końcowej fazie eksploatacji kwater.

Przewiduje się szczelne zamknięcie i rekultywację kwater, bezpośrednio po ich wypełnieniu odpadami.

Samochód dowożący odpady na wysypisko będzie kontrolowany pod względem rodzaju dostarczanych odpadów i ważony, na wadze istniejącej na kompostowni. Waga powiązana jest z programem komputerowym umożliwiającym m.in. gromadzenie i obróbkę danych, identyfikację dostawców i kategorii odpadów.

System rejestrująco-ważący odpadów

Nieodzownym elementem prawidłowo funkcjonującej gospodarki odpadami musi być sprawny system ewidencyjno - ważący. Sprzężenie wag z komputerem i prawidłowy program komputerowy to dziś niezbędny element prawidłowo funkcjonującego Zakładu Przeróbki i Gromadzenia Odpadów.

W systemie funkcjonują dwie wagi: wjazdowa i wyjazdowa. Obie wagi połączone są siecią komputerową. Program ewidencyjno - ważący opracowany na zlecenie Zakładu Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej. Budynek wag stojący na bramie jest zarazem portiernią Zakładu. Wagi rejestrują wszystkie grupy odpadów i surowców w tym kompost, wjeżdżające i wyjeżdżające z terenu Zakładu.

Rainer WERTHMANN

Kali und Salz Entsorgung GmbH, Königstor 35, 34117 Kassel, Deutschland

DIE BESEITIGUNG VON ABFÄLLEN IN DER UNTERTAGE- DEPONIE HERFA-NEURODE

1. EINLEITUNG

Die Untertage-Deponie Herfa-Neurode wurde 1972 in Betrieb genommen als erste Untertage-Deponie der Welt für gefährliche Abfälle. Sie liegt im hessischen Kalirevier im Zentrum Deutschlands. Die hier vorliegende geologische Situation, zusätzliche technische Sicherungsmaßnahmen und eine sorgfältige Überwachung des Betriebs machen sie zu einem der sichersten Orte, an dem man chemisch-toxische Abfälle aufbewahren kann, ohne sich Sorgen über eine Umweltgefährdung zu machen.

2. BARRIEREN

Die Untertage-Deponie Herfa-Neurode befindet sich in einem besonders abgetrennten und gesicherten Bereich des Kalibergwerks Wintershall bei Heringen an der Werra. Die Hohlräume, in denen heute Abfälle eingelagert werden wie in einem riesigen Lagerhaus, sind durch die Gewinnung von Kalirohsalzen entstanden. Sie liegen in einer Tiefe von ca. 700 m und haben eine Raumhöhe von etwa 3 Metern. Sie sind standsicher und nicht einsturzgefährdet. Dies wird dadurch bewirkt, dass bei der Salzgewinnung nicht die ganze Schicht an Kalirohsalz entfernt wurde, sondern riesenhafte Säulen stehengelassen wurden, die so berechnet sind, dass sie das Dreifache der darüber lastenden Gesteinsmasse tragen können, ohne einzustürzen. Die Deponie ähnelt damit einem überdimensionalen Schachbrett, nur mit dem Unterschied, dass die freien Felder, in denen das Salz entfernt wurde, etwas größer, und die Felder, in denen das wertvolle Kalirohsalz aus Sicherheitsgründen als Pfeiler stehenbleiben mußte, etwas kleiner sind, etwa im Verhältnis 60 : 40.

Diese Hohlräume haben über und unter sich noch je etwa 150 m Salzgestein meist unreines Steinsalz. Nach oben hin schließt sich eine Wechselfolge von Ton- und Dolomitschichten an, von denen die vier mächtigsten Tonschichten zusammen eine Dicke von etwa 100 m haben. Darüber wiederum lagern ca 500 m Buntsandstein. Der Buntsandstein schützt die Deponie vor den Einflüssen der Erdoberfläche, die Tonschichten sind wasserdicht, und das darunter lagernde Salzgestein ist sogar gasdicht. Dementsprechend ist das Bergwerk völlig trocken, Wasser von der Erdoberfläche oder aus dem Grundwasserhorizont kann nicht an die Abfälle herankommen.

Deponiesickerwasser oder Deponiegas, wie bei Deponien an der Erdoberfläche üblich, gibt es nicht. Ebenso ist eine Nachsorge nicht erforderlich.

Zusätzlich zu diesen naturgegebenen geologischen Barrieren, die die strikte Trennung der Abfälle von der Biosphäre bewirken, wird eine Anzahl von künstlichen Barrieren errichtet, die die Wirksamkeit der Trennung noch erhöhen. Da ist zunächst die Verpackung des Abfalls, die einen Kontakt verschiedener Abfallarten und damit mögliche unvorhersehbare Reaktionen verhindert. Es werden nur verpackte Abfälle eingelagert. Die Abfälle stehen nach Gruppen geordnet in den unterirdischen Ablagerungskammern. Ist eine Kammer gefüllt, wird sie durch eine Ziegelsteinmauer verschlossen. Viele Kammern ergeben ein Deponiefeld und dieses Deponiefeld ist wiederum durch gewachsenes Salzgestein sowie breite Dammbauwerke vom übrigen Bergwerk abgetrennt, so dass nur ein Zugang und ein Notweg in die Deponie hinein existieren. Schließlich ist die letzte und wirksamste technische Barriere die endgültige dichte Verfüllung der Schächte nach Beendigung des Betriebes. Die behördliche Auflage hierzu schreibt vor, dass das hierfür eingesetzte Verfahren dem Stand der Technik zum Zeitpunkt der endgültigen Schachtverfüllung zu entsprechen hat.

Natürliche und technische Barrieren zusammen leisten einen dauerhaft sicheren und nachsorgefreien Abschluß der eingelagerten Abfälle von der Biosphäre.

3. EINLAGERUNGSBESCHRÄNKUNGEN

Nach dem bisher Gesagten ist klar, dass für die einzulagernden Stoffe keinerlei Beschränkung bezüglich Giftigkeit, Schwermetallgehalt oder Wasserlöslichkeit bzw. Eluierbarkeit besteht. Dies alles spielt nur eine Rolle im Hinblick auf den Transport des Abfalls vom Erzeuger zur Deponie bzw. den Umgang des Deponiepersonals mit den Abfallgebinden. Je nach Art des Abfalls sind durch die Genehmigungsbehörden verschiedene Verpackungsarten vorgeschrieben, um den Arbeits- und Gesundheitsschutz in der Untertage-Deponie zu gewährleisten. Einige Abfälle dürfen in Big-Bags angeliefert werden, andere müssen in Stahlblechcontainer oder 200 l-Stahlfässer verpackt sein. Auch für die Verpackung des Abfalls im Inneren der Fässer gibt es Vorschriften. Die Auflagen reichen hier von einem einfachen Polyäthyleninnensack bis hin zur Faß-in-Faß Doppelverpackung: Hier ist der Abfall in 100- bis 150 l-Fässer gefüllt, die wiederum in 200 l-Stahlblechfässer eingestellt sind und deren Zwischenraum mit Anhydrit vergossen ist. In besonderen Fällen ist es auch möglich, die Abfälle in Form pneumatisch förderbarer Massengüter lose im Silofahrzeug an der Untertage-Deponie Herfa-Neurode anzuliefern. Sie werden dann vor der Einlagerung in den Vorschriften entsprechende Gebinde abgefüllt.

Alle Abfallbehälter müssen natürlich für den Transport vom Kunden zur Untertage-Deponie den Vorschriften für den Transport gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) bzw. auf der Schiene (RID) entsprechen.

Es gibt jedoch Begrenzungen, die nichts mit der Toxizität zu tun haben, sondern mit den speziellen, in einem Bergwerk wie der Untertage-Deponie Herfa-Neurode herrschenden Bedingungen. Die wichtigsten sind die folgenden:

1. Die Abfälle dürfen nicht radioaktiv sein. Es gibt zwar Endlagerbergwerke für radioaktive Stoffe, doch diese sind speziell für diese Aufgabe hergerichtet und unterliegen auch besonderen Kontrollmaßnahmen. Daher sind die in Herfa-Neurode einzulagernden Abfälle auf chemisch-toxische Stoffe beschränkt.
2. Die Abfälle dürfen nicht selbstentzündlich oder explosiv sein. Da Bergwerke nur eine begrenzte Luftmenge zur Verfügung haben und meist künstlich belüftet („bewettert“) werden, sind alle Prozesse, die mit Explosion, Brand und Gasentwicklung zu tun haben, in einem Bergwerk schwieriger zu beherrschen als an der Erdoberfläche. Aus Sicherheitsgründen verbietet sich daher die Einlagerung von explosiven oder selbstentzündlichen Stoffen.
3. Aus dem gleichen Grunde ist es nicht zulässig, Abfälle einzulagern, die brennbare oder toxische Gase entwickeln oder Erreger übertragbarer Krankheiten enthalten.
4. Selbstgängig brennbare, aber nicht selbstentzündliche Abfälle sind nicht prinzipiell von einer Einlagerung ausgeschlossen. Es gilt jedoch die Auflage, dass bei Heizwerten $> 7000 \text{ kJ/kg}$ eine Einlagerung nur erlaubt wird, wenn der Ablehnungsbescheid einer Sonderabfallverbrennungsanlage vorliegt.
5. Der Abfall darf nicht flüssig sein und auch keine Flüssigkeit freisetzen. Es kommt dabei nicht auf den absoluten Wassergehalt des Abfalls an, der zum Beispiel bei Filterkuchen aus Kammerfilterpressen durchaus Werte über 50 % annehmen kann, sondern darauf, ob freie Flüssigkeit vorhanden ist, die eventuell das Faß verlassen kann. Um nasse Abfälle einlagerfähig zu machen, ist es daher nicht unbedingt notwendig, sie zu trocknen, sondern es ist auch möglich, die freie Flüssigkeit mit anorganischen Aufsaugmitteln, zum Beispiel Kieselgur oder Gips, zu binden.

Typische Beispiele der eingelagerten Abfälle sind:

- Abfälle, die Cyanide, Arsen, Quecksilber oder andere Schwermetalle enthalten
- chlorierte Kohlenwasserstoffe wie HCH, PCB, PCDD/PCDF
- Pestizide
- Produktionsrückstände aus der Chemischen Industrie oder der Metallindustrie
- PCB-haltige Transformatoren, Kondensatoren etc.
- Rauchgasreinigungsrückstände aus Hausmüllverbrennungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen sowie thermischen Prozessen aller Art
- Schlämme aus industrieller Abwasserbehandlung
- Kontaminierte Böden aus Standortsanierungen

4. GENEHMIGUNGSVERFAHREN

Es ist nicht möglich, ohne vorherige behördliche Genehmigung Abfälle in der Untertage-Deponie Herfa-Neurode zu entsorgen. Um die erforderliche Genehmigung zu erhalten, ist für deutsche Abfälle das behördlich vorgeschriebene Entsorgungsnachweis-

und das Begleitscheinverfahren anzuwenden. Für Abfälle aus Ländern außerhalb Deutschlands ist es das Notifizierungsverfahren nach der Baseler Konvention über den grenzüberschreitenden Verkehr von Abfällen.

In das Notifizierungsverfahren sind die fünf beteiligten Parteien eingebunden: Der Abfallerzeuger, die für den Abfallerzeuger zuständige Behörde, der Abfallentsorger, die für den Abfallentsorger zuständige Behörde, sowie das den Transport ausführende Transportunternehmen. Erzeuger, Entsorger und Transporteur müssen mit genauer Anschrift und verantwortlicher Ansprechperson bekannt sein. Aussehen, Zusammensetzung und Anfallort bzw. das Verfahren, in dem der Abfall entsteht, müssen beschrieben werden. Häufig wird eine Deklarationsanalyse beigelegt, die auf Wunsch auch anhand einer repräsentativen Probe in unserem eigenen akkreditierten Labor angefertigt werden kann. Die Deklaration der Zusammensetzung des Abfalls ist so abzufassen, dass der Abfall zu 100 % bestimmt ist und dass natürliche Konzentrationsschwankungen der Inhaltsstoffe zwischen dem Doppelten und der Hälfte der angegebenen Werte liegen.

Der Abfallerzeuger erklärt auf dem Papier verbindlich, dass der angelieferte Abfall wirklich den angegebenen Daten entspricht. Der Entsorger erklärt, dass er die Genehmigung hat, auch gerade diesen Abfall anzunehmen, dass er technisch und organisatorisch etc. dazu in der Lage ist und dass er auch bereit ist, dies unter den vorliegenden (z.B. den kaufmännisch ausgehandelten) Bedingungen zu tun. Der Transporteur erklärt, dass er die erforderlichen Genehmigungen und Versicherungen besitzt und dass er den Abfall nach den geltenden ADR-Regeln transportiert. Die Behörde des Erzeugers und die Behörde des Entsorgers müssen die Rechtmäßigkeit des ganzen Vorganges prüfen und ihre Zustimmung geben. Geht der Transport zwischen Ursprungs- und Zielland noch durch eines oder mehrere dazwischen liegende Länder, müssen auch deren Behörden dem Transport zustimmen. Ist der Abfall ordnungsgemäß entsorgt, müssen der Erzeuger und auch die zuständigen Behörden innerhalb einer bestimmten Frist davon unterrichtet werden.

Durch dieses Notifizierungsverfahren wird sichergestellt, dass genau der zwischen Erzeuger und Entsorger vereinbarte und von den zuständigen Behörden genehmigte Abfall am vorgesehenen Entsorgungsort ankommt und dort auch in der vereinbarten und genehmigten Weise beseitigt bzw. verwertet wird.

Mehr als 20 % der in der Untertage-Deponie Herfa-Neurode eingelagerten Abfälle stammen aus europäischen Ländern außerhalb Deutschlands. Darunter sind Finnland, Schweden, Dänemark, Belgien, Niederlande, Luxemburg, Frankreich, Schweiz, Österreich, Tschechien und Slowenien.

5. ANLIEFERUNG

Die Anlieferung in der Untertage-Deponie Herfa-Neurode ist möglich über die Straße und über die Schiene. Der Kunde führt – gegebenenfalls mit unserer Hilfe – das

Notifizierungsverfahren durch und packt die Abfälle in die vorgeschriebenen Behältnisse. Jede Verpackungseinheit, sei es Big Bag, Container oder eine Gruppe von vier Fässern, muß auf einer Palette mit den Maßen 1,10 m x 1,20 m stehen. Diese Abmessungen ergeben sich aus den Maßen des Förderkorbes, mit dem die Abfälle durch den Schacht ins Bergwerk transportiert werden.

Mit der Dispositionsabteilung der Untertage-Deponie wird ein fester Anlieferungszeitpunkt vereinbart. Die LKW müssen von der Längsseite her per Gabelstapler entladbar sein. Bei Bahnanlieferung müssen die Bahnwaggons verschiebbare Seitenwände haben, so daß auch hier die Entladung von der Längsseite per Gabelstapler erfolgen kann. Bestimmte, pneumatisch förderbare Massenabfälle wie Rauchgasreinigungsrückstände von Verbrennungsanlagen werden, wie erwähnt, lose in Silofahrzeugen angeliefert.

Im folgenden sei die Annahmekontrolle einer Sendung von abfallgefüllten 200 l-Fässern erläutert. Bei anderen Verpackungsarten wird analog verfahren.

Aus jeder LKW- oder Waggonladung werden zur Annahmekontrolle vier Paletten beliebig ausgewählt. Von diesen werden sechs Fässer herausgegriffen. Bei jedem dieser Fässer wird in den Deckel ein Loch gebohrt und der Gasraum des Fasses mittels Multimeßgerät und Prüfröhrchen auf brennbare bzw. schädliche Gase untersucht. Nach der Messung wird das Loch mit einer Spezialschraube mit Gummidichtung wieder verschlossen. Wird durch die Messung festgestellt, daß brennbare oder gesundheitsschädliche Gase in erheblichem Umfang vorhanden sind, bedeutet dies, daß die oben erwähnten Einlagerungsbedingungen vom Abfallerzeuger nicht eingehalten wurden, obwohl er dies im Rahmen der Notifizierung schriftlich zugesichert hatte. Der Abfall darf in diesem Fall nicht eingelagert werden. Der Abfallerzeuger wird informiert, und weitere Maßnahmen werden mit ihm besprochen, gegebenenfalls die Rücksendung der gesamten Ladung zur weiteren Behandlung in seinem eigenen Betrieb.

Zeigen die Gasmessungen, daß weder brennbare noch gefährliche Gase oder Dämpfe entwickelt wurden, können die erwähnten sechs Fässer aus jeder Ladung geöffnet werden. Nun wird geprüft, ob die Verpackung im Inneren des Fasses den Vorschriften entspricht, ob freie Flüssigkeit vorliegt und ob der Abfall der in der Notifizierung enthaltenen Beschreibung durch den Kunden entspricht. Aus drei der sechs Fässer wird eine Probe entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Diese Probe wird im Labor der Annahmekontrolle mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse sowie mit Schnelltests auf die wesentlichen in der Deklaration erwähnten Bestandteile untersucht. Die Fässer werden wieder ordnungsgemäß verschlossen. Zeigt sich bei dieser Art der Überprüfung, daß der Abfall nicht den Angaben in der Notifizierung entspricht, wird der Kunde benachrichtigt und der Abfall gegebenenfalls wieder zurückgeschickt. Wird Übereinstimmung zwischen den Eigenschaften des Abfalls und den Angaben in der Deklaration festgestellt, kann der Abfall eingelagert werden. Die im Labor untersuchten Mischproben aus jeder einzelnen LKW- bzw. Waggonladung werden in einem untertägigen Probenraum in der Nähe des Einlagerungsfeldes auf unbegrenzte Zeit aufbewahrt.

Mit dem Förderkorb, einer Art Fahrstuhl, wird der Abfall in das Bergwerk in ca. 700 m Tiefe gebracht. Hier geht es zu wie in einem riesenhaften Lagerhaus, geordnet nach über 20 Stoffgruppen. Die Abfälle werden mit Tiefladern zur vorgesehenen Ablagerungsstelle gefahren und dort mit Gabelstaplern sorgfältig nebeneinander und übereinander gestapelt.

Täglich wird dokumentiert, wo welcher Abfall eingelagert wurde, so dass eine bestimmte Sendung auch nach Jahren noch wiederzufinden ist. Mit erfolgter Einlagerung geht der Abfall in das Eigentum des Bergwerkbetreibers K+S Aktiengesellschaft über. Sollte der Kunde aber in späterer Zeit das eine oder andere Faß zurück haben wollen, vielleicht um die darin enthaltenen Stoffe mit neu entwickelten Methoden wiederzugewinnen, ist dies gegen Erstattung der dann anfallenden Auslagerungskosten möglich.

Die Untertage-Deponie Herfa-Neurode ist also keineswegs ein "dunkles Loch", sondern ein streng geordneter und vielfach überwachter Betrieb. Unsere Kunden sind eingeladen, die Anlage zu besichtigen und sich von unserer Arbeitsweise zu überzeugen.

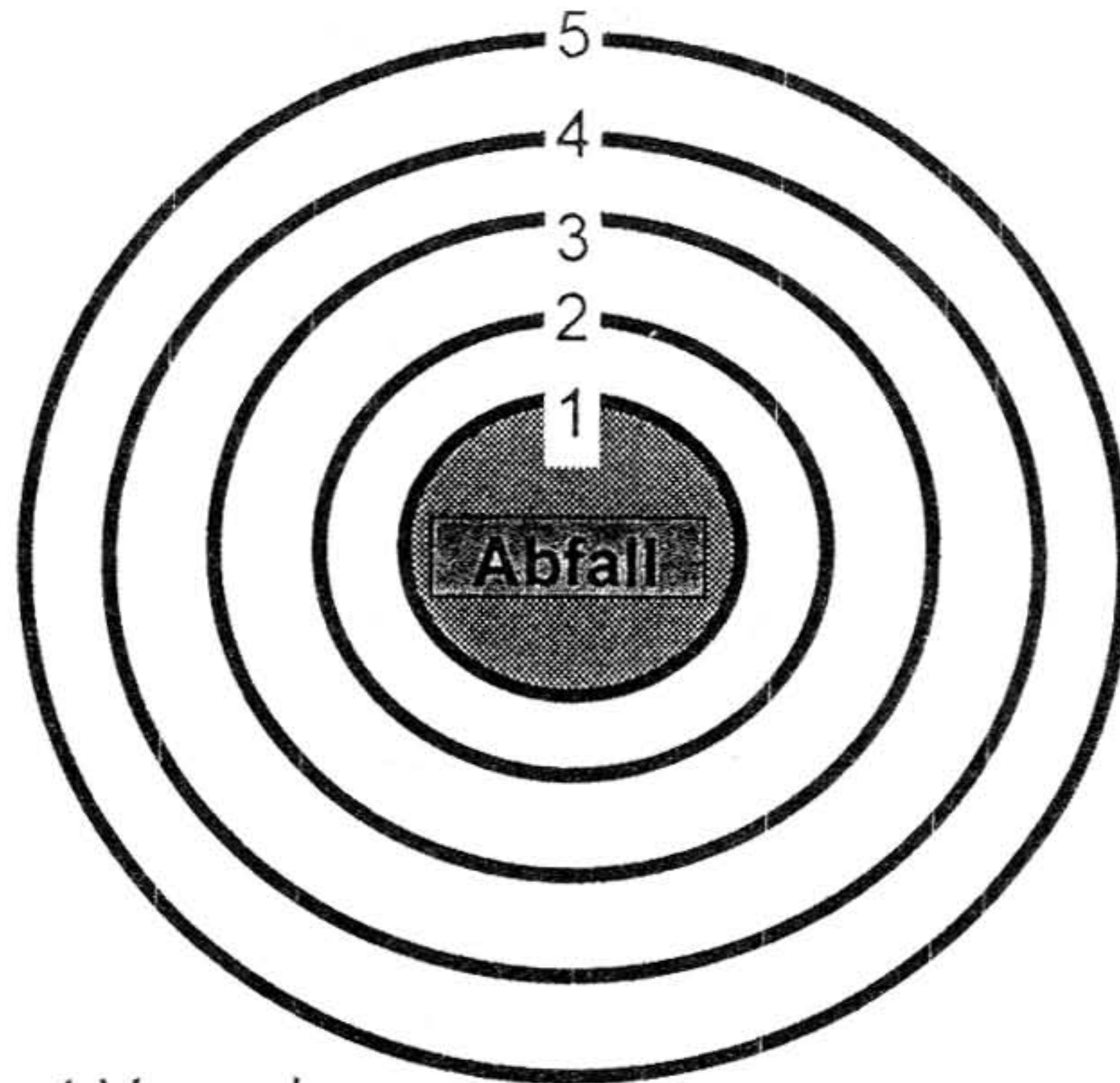
Alle diese Verfahrensweisen entsprechen nicht nur den behördlichen Auflagen, sondern sind auch in einem Qualitätsmanagement-Handbuch niedergelegt. Die Untertage-Deponie Herfa-Neurode – wie auch die anderen Anlagen aus der Firmengruppe K+S, in denen Abfälle entsorgt werden – ist zertifiziert nach DIN EN ISO 9002 sowie nach der deutschen Entsorgungsfachbetriebsverordnung.

Mit Abfällen muß man verantwortungsbewußt umgehen. Die Untertage-Deponie Herfa-Neurode sowie die anderen Entsorgungseinrichtungen in der K+S Gruppe leisten ihren Beitrag dazu.

- Langzeitsicherheit
- Dauerhafter Abschluß von der Biosphäre
- Keine Niederschläge => keine Auslaugung
=> kein Sickerwasser
- keine Nachsorge
- Vermeidung zukünftiger Altlasten

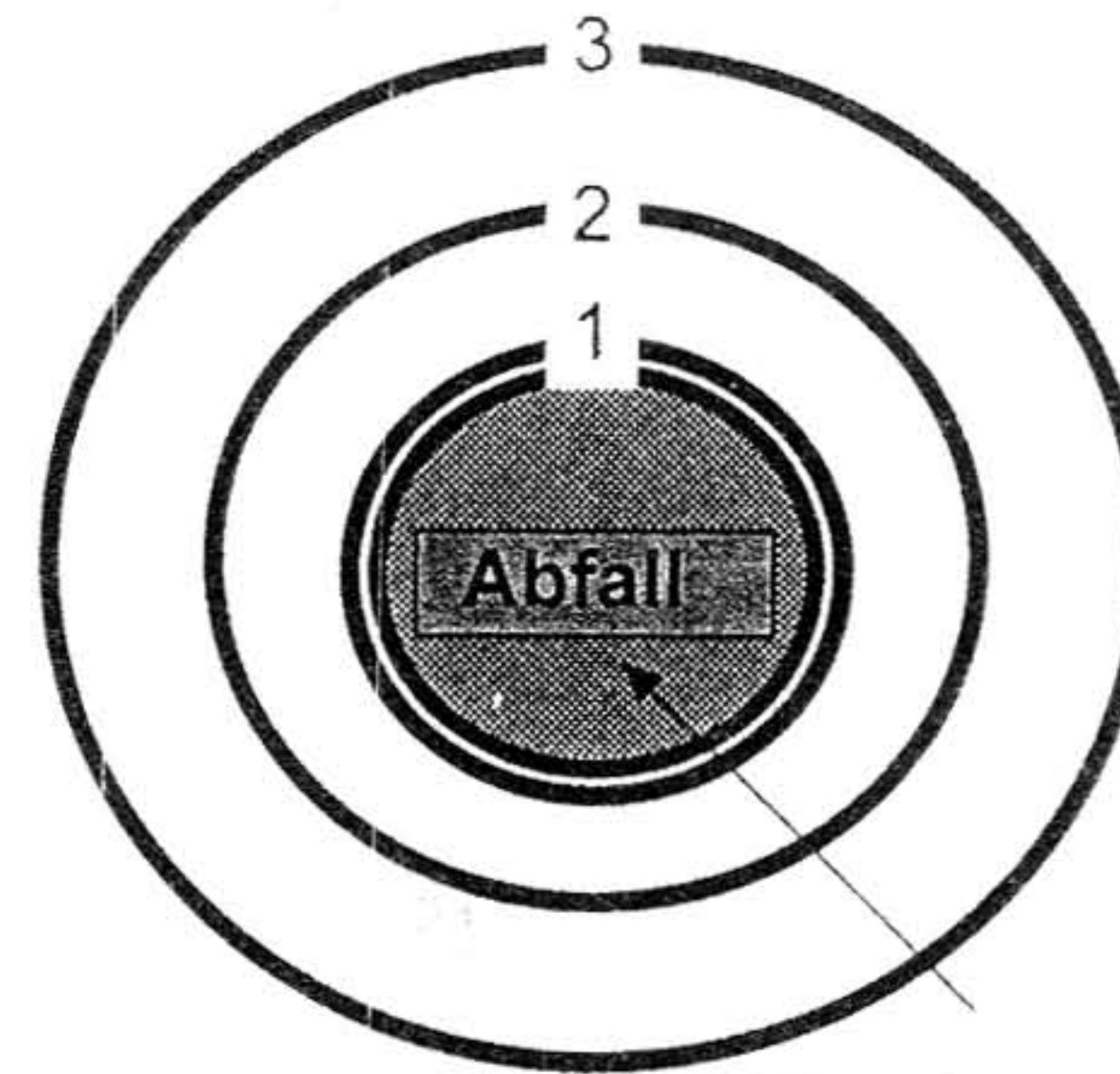


Technische Barrieren



- 1 Verpackung
- 2 Ziegelsteinmauern
- 3 Teilfeld-Dämme
- 4 Wasserdichter Damm
- 5 Dichter Schachtverschluß

Natürliche Barrieren



Eingekapselt durch
Technische Barrieren

- 1 Gasundurchlässiges
Salzgestein
- 2 Tonschichten
- 3 Deckgebirge



Vortrag Polen4 ppt

SKŁADOWANIE ODPADÓW W KOPALNI HERFA-NEURODE

Streszczenie

1. WPROWADZENIE

W Hesji, w rejonie wydobywania soli potasowych Herfa-Neurode, otwarto w roku 1972 pierwsze w świecie podziemne składowisko odpadów niebezpiecznych. Takie rozwiązanie umożliwił bardzo korzystny układ geologiczny góro-tworu. Poprzedzono je bardzo wnikliwymi badaniami górotworu określając techniczne zasady bezpieczeństwa. Po tylu latach eksploatacji można z całą odpowiedzialnością twierdzić, że jest to najbardziej bezpieczne miejsce składowania toksycznych odpadów chemicznych zagrażających naturalnemu środowisku..

2. BARIERY ZABEZPIECZAJĄCE

Składowisko podziemne Herfa-Neurode leży w specjalnie odizolowanym i bezpiecznym obszarze kopalni soli potasowych Wintershall k/Heringen nad rzeką Werrą. Kawerny do składowania odpadów to komory niczym w olbrzymim magazynie, powstałe po wydobywaniu surowych soli potasowych. Są one usytuowane na głębokości około 700 m po powierzchnią terenu i mają wysokość około trzech metrów. Są one statycznie pewne i nie zagraża im zapadnięcie (zawał). Olbrzymie filary ochronne mogą unieść 3-krotnie większą masę nadkładu. Całe składowisko wygląda niczym olbrzymia szachownica, przy czym stosunek powierzchni wyrobisk do powierzchni filarów ma się jak 60 : 40.

Nad i pod kawernami jest jeszcze około 150-metrowa warstwa soli kamiennej. W górnej warstwie występują przewarstwienia czterech potężnych warstw iłu i 500 m piaskowca. Piaskowiec chroni składowisko przed wpływami z zewnątrz. Warstwy iłu są nieprzepuszczalne dla wody, a warstwy soli nie przepuszczają nawet gazów. Tak, więc omawiane wyrobisko kopalniane jest całkowicie suche i ani wody powierzchniowe, ani gruntowe nie mają do odpadów dostępu. Nie ma, zatem ani przecieków, ani gazów.

Do tego dochodzą bariery i zabezpieczenia sztuczne. Są to: restrykcyjny rozdział różnych rodzajów odpadów w poszczególnych komorach składowiska (bez możliwości reakcji z innymi rodzajami odpadów), zróżnicowane opakowania, mury oddzielające z cegieł, tamy w części pól, tamy wodoszczelne i wreszcie szczelne zamknięcia poszczególnych komór. Suma obydwu rodzajów barier daje w pełni bezpieczne składowanie na wieki całe, absolutnie nieszkodliwe dla biosfery.

3. OGRANICZENIE SKŁADOWANIA

Poważniejszych ograniczeń prawie nie ma; nie ogranicza składowania ani toksyczność, ani zawartość metali ciężkich czy wysoki wskaźnik rozpuszczalności w wodzie. To raczej tylko kwestia rodzaju zabezpieczenia transportu od producenta do składowiska. I oczywiście ściśle przestrzeganie zasad BHP. Urzędy udzielające pozwoleń na warunki transportu, określają również rodzaje opakowań jak np. worki z tworzyw sztucznych typu *Big-Bag*, pojemniki stalowe i także zbiorniki o pojemności 200 litrów. Ale są też ograniczenia. Nie przyjmuje się odpadów radioaktywnych, samozapalnych lub eksplodujących, wytwarzających palne lub toksyczne gazy, a także zawierające mikroorganizmy chorób zakaźnych. Z ograniczeniami przyjmuje się odpady palne, ale nie samozapalne. Nie przyjmuje się odpadów w postaci ciekłej, ani takich, które uwalniają ciecze.

4. PROCEDURA UZYSKIWANIA POZWOLEŃ

Artykuł wymienia następnie szereg najbardziej charakterystycznych grup przyjmowanych odpadów, a następnie opisuje **procedurę uzyskiwania pozwoleń** na składowanie, i to zarówno wewnątrz krajowych (niemieckich) jak i - w przypadku dowozu odpadów z zagranicy - wg zasad Konwencji Bazylejskiej. Bowiem nieco ponad 20% odpadów składowanych w Herfa-Neurode pochodzi z zagranicy.

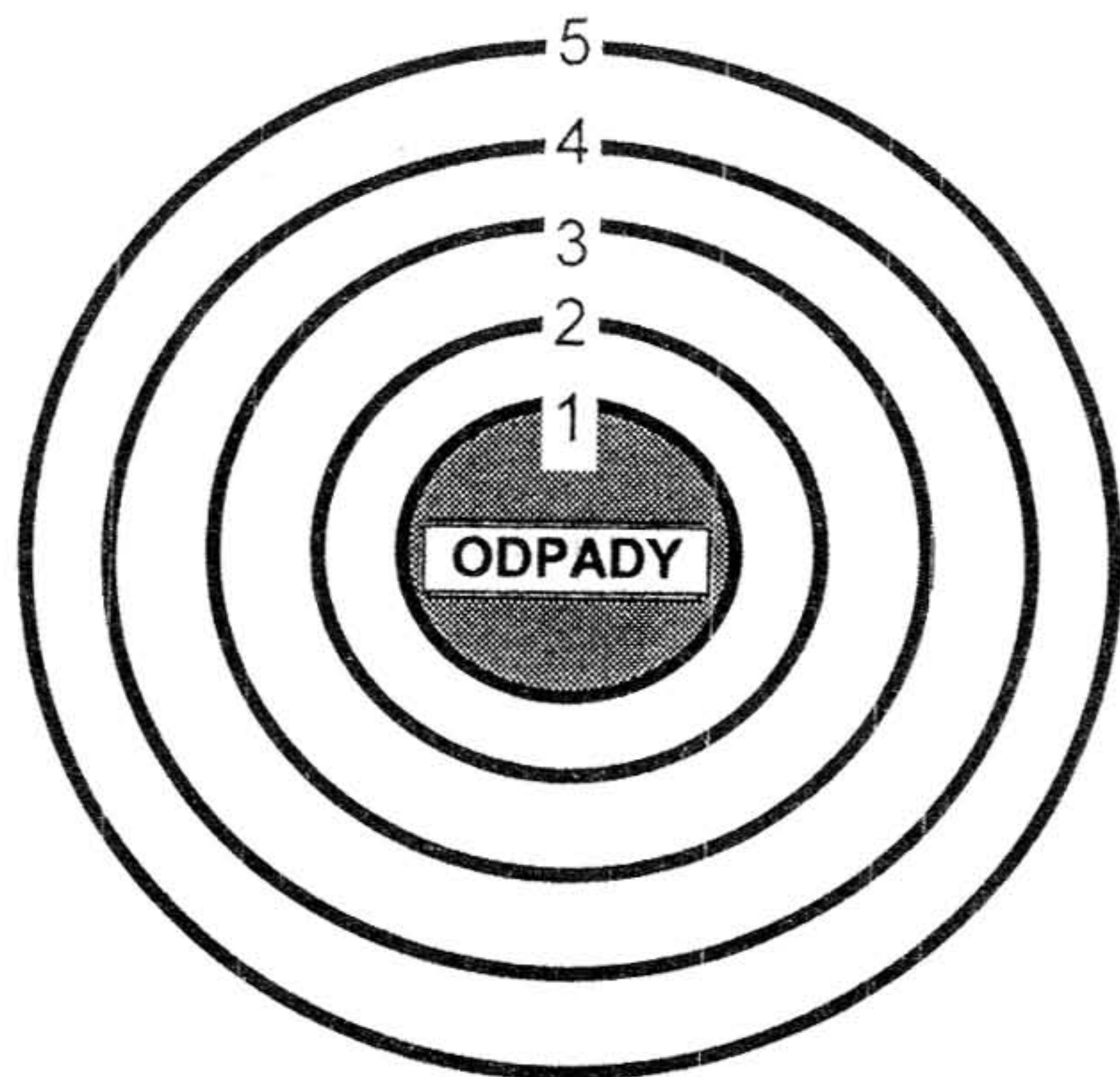
5. SPOSOBY DOSTAWY ODPADÓW

Autor opisuje szerzej **procedurę przyjmowania odpadów**: dostawę samochodami lub koleją, w różnych opakowaniach, czynności laboratoryjno-kontrolne, transport pionowy do kopalni, gdzie następuje podział na więcej niż 20 grup odpadów, super dokładną dokumentację z sumiennym i wielorakim nadzorem.

Zakład jest zdaniem Autora wzorowy nie tylko ze względu na zarządzanie (EN ISO 9002), ale również z uwagi na odpowiedzialnie zagospodarowanie niebezpiecznych odpadów. W przyszłości nie będzie zatem problemów z zastarzającymi pozostałościami minionych lat.

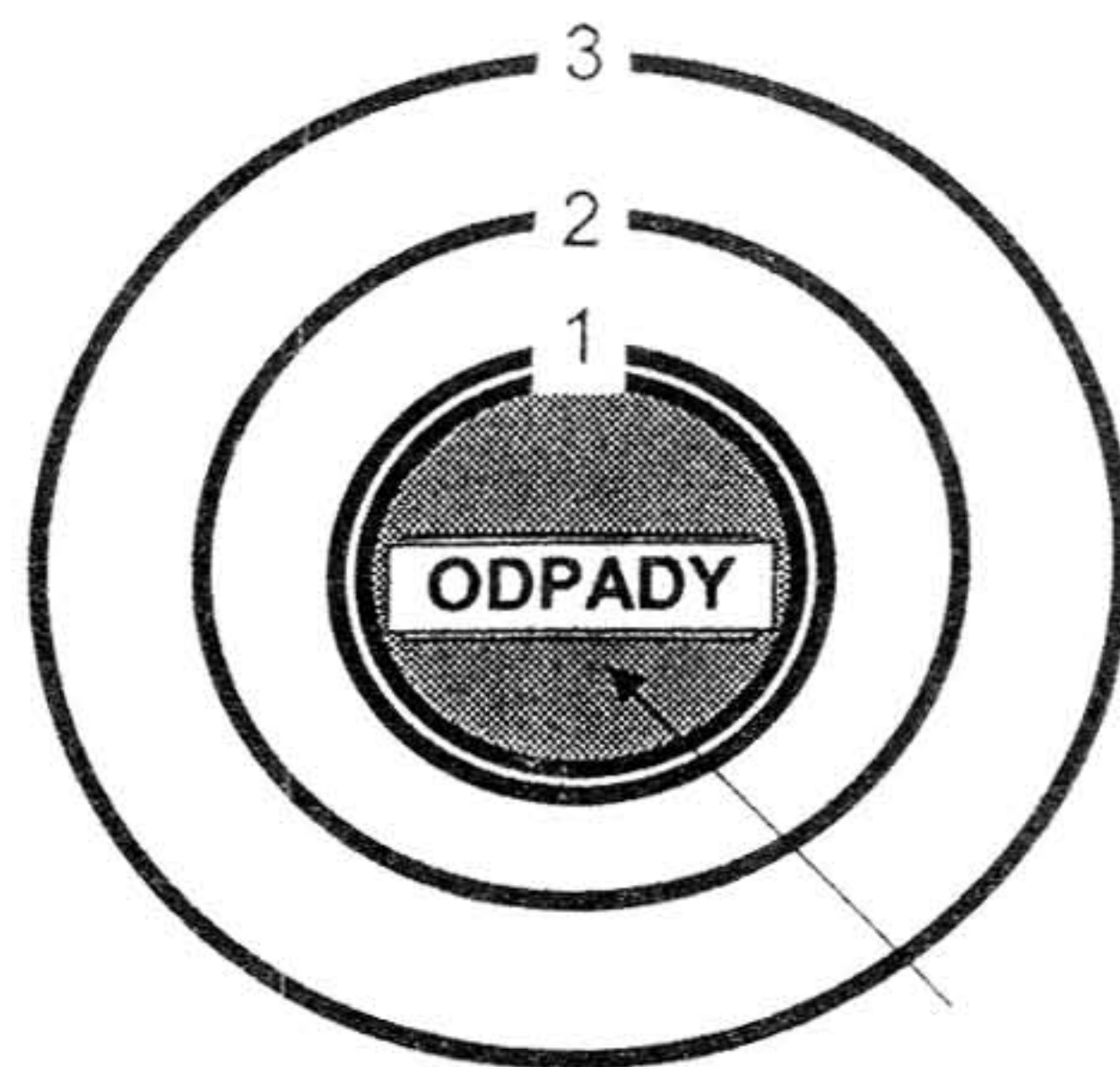
- Długoterminowe bezpieczeństwo
- Trwałe odcięcie od biosfery
- Brak opadów, a więc nie ma wylugowywania ani przecieków
- nie występują późniejsze ujemne skutki
- nie powstają zastarzałe odpady

Zabezpieczenia techniczne



- 1 Opakowania
- 2 Mur z cegieł
- 3 Tamy (zamurowania) części komory
- 4 Tama wodoszczelna
- 5 Szczelne zamknięcie szybu

Bariery naturalne



zamknięte technicznymi
zabezpieczeniami

- 1 Wodoszczelne pokłady soli
- 2 Warstwy iłu
- 3 Warstwy nadkładu

Edward S. KEMPA

KLASY KOMPOSTU - REALNOŚĆ CZY FIKCJA?

Streszczenie

Kompost, uzyskiwany z odpadów miejskich, osadów ściekowych i odpadowych substancji roślinnych i zwierzęcych, wykorzystuje się przyrodniczo od wieków (w rolnictwie, leśnictwie, ogrodnictwie) bądź to jako nawóz (ang. fertilizer) bądź "tylko" jako czynnik próchnicotwórczy (ang. soil conditioner). Wykorzystanie to jest rozumiane jako zwracanie do pierwotnego źródła tych substancji, które z niego pochodzą.

Niezbyt trudno podać syntetyczną definicję kompostu, jednak bardzo trudno ją rozwinąć, a komposty odpowiednio sklasyfikować. Przez konkretną klasę kompostu rozumie się w różnych krajach masę o bardzo różnym składzie, co oznacza, że takie klasy kompostu nie są kompatybilne. Artykuł stara się pokazać drogę (być może nie jedyną) do pracowania ujednoliconej klasyfikacji kompostów.

1. WPROWADZENIE

Kompost z odpadów miejskich, osadów ściekowych itp. biologicznie rozkładalnych substancji organicznych, był użytkowany przyrodniczo od setek lat. Podobnie jest w dobie obecnej. Można by zatem domniemywać, że o tym produkcie rozkładu wiadomo bardzo wiele, lub nawet wszystko. Jednak specjaliści zajmujący się szczegółowo tą problematyką, zapewne już w tym miejscu zaprotestują.

Na wykorzystanie kompostu patrzy się od kilku dziesięcioleci także jako na jeden z czynników ochrony środowiska, a także jako na zwracanie do przyrodniczego obiegu tych wszystkich wartościowych dla roślin substancji, które z tego obiegu zostały uprzednio pobrane. Kompostowanie można zatem zaliczyć do technologii małych odpadów.

Zastanawiający jest jednak fakt, że w dobie daleko rozwiniętej standaryzacji - skądinąd bardzo szczegółowej i jednoznacznej - unormowanie klas kompostu takiemu unormowaniu zdaje się umykać. Znane są oczywiście różne kryteria klasyfikacyjne dla gotowego produktu (kompostu) typu: substancje balastowe (szkło, tworzywa sztuczne), metale ciężkie, substancje mineralne (jak np. popiół) itp.

Gdy jednak porówna się klasy kompostu w różnych krajach, wychodzą na jaw zasadnicze różnice tak w samych kryteriach klasyfikacyjnych jak i w składzie kompostu poszczególnych klas.

Z tego stwierdzenia wynika geneza niniejszego referatu.

Powstają pytania:

- Czy ujednolicona klasyfikacja kompostu jest w ogóle możliwa?
- Czy jest to produkt (wytworzony przecież wg określonej technologii) możliwy czy też nie do jednoznacznego zdefiniowania?
- Czy można tu zastosować statystyczną kontrolę produktu - podobnie jak w większości gałęzi produkcyjnych, mimo iż wiadomo, że produkt finalny można uzyskać przy użyciu różnych rozwiązań technicznych.

2. DOTYCHCZASOWE OCENY JAKOŚCI KOMPOSTÓW

Wertując nawet starsze prace badawcze, znajduje się w nich pewne punkty dotyczące klasyfikacji kompostów [1-4, 8]. Z nich należałoby może wymienić specjalnie pracę Czerney'a [2], gdyż był on bodaj jednym z pierwszych, który rozpatrywał i oceniał jakość kompostów uzyskanych z odpadów miejskich. Wiele wskaźników dotyczących jakości zawiera austriacka norma [8].

We własnym podręczniku akademickim, autor tego referatu [5], próbował zestawić ówczesnie znane początki i główne zasady klasyfikacji kompostów. Zestawienie to wykazało, że nie tylko same klasy kompostu, ale i dopuszczalne wartości składników pożądanых i niepożądanych nie tylko odbiegają od siebie, ale nie jednokrotnie są wręcz sprzeczne ze sobą.

Lata mijają, a nawet w najnowszych publikacjach [10], wyraźnie o klasach jakościowych kompostu się nie mówi.

Pewne wskazówki, idące w kierunku rozumowania autora, formułuje Kahmann [4]:

"Bei der Beschreibung, Bewertung und Klassifizierung von Komposten aus festen und flüssigen Siedlungsabfällen, führen derartige Versuche fast nie zu einem vollständig befriedigendem Ergebnis. Das ist nicht weiter verwunderlich, da schon das Ausgangsmaterial ein Höchstmaß an Inhomogenität aufweist. Der Kompostrohstoff ist nur innerhalb einer größeren Schwankungsbreite beschreibbar." (cyt.)

Ten sam autor pisze następnie [4]:

"Kompostwerke sind wenig geeignet, exakt definierbare Produkte anzubieten. Die oben erwähnten Schwierigkeiten (s. dort) und Hemmnisse bei der exakten Beschreibung des Produktes KOMPOST zeigen gleichzeitig, wie problematisch es wird, ein durch festgelegte Qualitätsmerkmale gekennzeichnetes Produkt

diesen Qualitätsmerkmalen entsprechend herzustellen. Die Einteilung kann daher nur in Gruppen mit fließenden Übergängen erfolgen" (cyt.)

Dochodzimy zatem do stwierdzenia, że dla klas kompostu nie można obecnie (a zapewne i w przyszłości) ustalić dokładnych absolutnych wartości poszczególnych, charakterystycznych składników. Warunki i zakres badań idących w kierunku unormowania klas kompostu, które określił swego czasu Mach (via [5]), zostały w minionym okresie w zasadzie spełnione; a były nimi:

- standaryzacja testu higieniczno-sanitarnego,
- opracowanie standardowej metody wyznaczania stopnia humifikacji, przez zawężenie ilorazu C/N i stopień rozkładu substancji organicznej,
- ustalenie dopuszczalnych stężeń metali ciężkich w glebach,
- ustalenie dopuszczalnych wartości substancji szkodliwych w kompostach,
- możliwości składowania (magazynowania),
- technika poboru prób.

Niezależnie od powyższego, autor referatu proponuje niżej nieco inne podejście metodyczne, które jego zdaniem znacznie lepiej odpowiada postawionemu zadaniu.

3. OCENA PRODUKTU wg METODY JAKOŚCI KOMPLEKSOWEJ

Produkty mogą być materialne i abstrakcyjne. Kompost jest produktem w sensie materialnym i podlega ocenie jakościowej; ma on cechy techniczne i korzystne (pożądane). Ocena stopnia jakości dowolnego produktu zależy od przypisanej mu liczby cech jakościowych, co upoważnia do użycia terminu: *jakość kompleksowa*.

Istotny wpływ na ocenę końcową, mają właściwie wybrane kryteria, cechy i właściwości. Cechy powinni wybierać fachowcy wysokiej klasy, a nie niedouczeni laicy. Założone z góry kryteria mogą mieć charakter mierzalny i/lub niemierzalny, stąd jakość kompleksowa może, a czasem i powinna być oceniana według tych obydwu grup kryterialnych. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń stwierdzam, że taką ocenę można zastosować również w odniesieniu do kompostów.

Zbiór n cech jakościowych opisuje się analitycznie wektorem:

$$[C_i] = [C_1, C_2, C_3, \dots, C_{n-1}, C_n] \quad (1)$$

Przy czym n jest dowolną, nieujemną liczbą całkowitą

Opis jakości kompleksowej można czasem zredukować tylko do jednego pytania, a mianowicie: Jak można by, używając tylko jednej wielkości (która była by wówczas sama w sobie wypadkową) opisać produkt, który w normalnych warunkach wymagałby opisu przy użyciu wielu charakterystycznych i pojedynczych parametrów?

Tu przychodzi z pomocą pojęcie tzw. *jakości kompleksowej* F , która jest funkcją wszystkich zmiennych, indywidualnych cech jakościowych. Zapisem matematycznym jest

$$F = f(C_i) = f(C_1, C_2, C_3, \dots, C_{n-1}, C_n) \quad (2)$$

Oznacza to, że na zbiorze pojedynczych cech można wykonywać normalne operacje obliczeniowe.

Ocena produktu wg określonej punktacji oznacza, że mamy do rozdysponowania określoną liczbę punktów i im przyporządkowujemy każdą cechę. Punkty te można dodawać, mnożyć, itd. Po operacjach rachunkowych, przyporządkowuje się daną liczbę punktów danemu produktowi (np. kilku kompostom różnego pochodzenia).

Addytywna postać funkcji jakości to

$$F = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_{n-1} + C_n = \sum_{i=1}^n C_i \quad (3)$$

Zaś postać iloczynu

$$F = \prod_{i=1}^n C_i \quad (4)$$

A priori nie można na ogół stwierdzić, która z powyższych postaci F jest lepsza. Według Wesołowskiego [13], postać addytywną preferuje się wówczas, gdy poszczególne cechy nie oddziałują na siebie wzajemnie; jeżeli jest odwrotnie, preferuje się postać iloczynu.

Gdy zakłada się, by wartość F leżała w pewnych, z góry ustalonych granicach, pracuje się w oparciu o wartości średnie.

Postać addytywną zapisujemy w formie średniej arytmetycznej

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad (5)$$

zaś multiplikatywną w postaci średniej geometrycznej

$$F = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n C_i} \quad (6)$$

Wybór i oznaczenie poszczególnych kryteriów jakościowych może czasem okazać się niewystarczające. Zachodzi wówczas konieczność większego zróżnicowania cech przez

wprowadzenie rankingu tj. rangi ważności cech. Aby znanadto nie komplikować układu, zadawaliśmy się zwykle trójstopniową skalą ważności (a_i):

	bardzo ważny	przeciętny	nieistotny
ang.:	<i>high</i>	<i>middle</i>	<i>low</i> ,

przy czym wartości punktowe przypisane rangom (np. 1,5; 1; 0,5) mogą być bardzo różne, a są przyjmowane z oszacowania i zaleceń ekspertów.

Rangi ważności zapisuje się również w postaci wektora:

$$[a_i] = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_{n-1}, a_n] \quad (7)$$

Wówczas będzie odpowiednio:

$$F = \sum_{i=1}^n a_i C_i \text{ oraz } \prod_{i=1}^n a_i C_i \quad (8a, 8b)$$

Średnie ważone przybiorą natomiast postaci:

arytmetyczną

$$F_{\text{sr}, w} = \frac{\sum a_i C_i}{\sum a_i} \quad \text{gdzie } i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

lub geometryczną

$$F = \sum a_i \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_i C_i} \quad (10)$$

W procesie kompostowania powodujemy zmianę wielu cech jakościowych surowych odpadów. Optymalizując działanie, zmieniamy F :

$$f = \sum k_i c_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

w którym: f - przyrost lub ubytek kompleksowej jakości,
 c_i - przyrost lub ubytek C_i (czyli wartości i -tej cechy),
 k_i - współczynnik rangi i -tej cechy.

W wyniku otrzymujemy wektor

$$[k_i] = [k_1, k_2, k_3, \dots, k_{n-1}, k_n] \quad (12)$$

a także

$$k_i = \frac{f_i}{c_i} \quad (13)$$

Jeżeli przyjmiemy dodatkowo, że do wektora cech $[C_i]$ przyporządkowany jest wektor zmiennych $[x_i]$, wówczas otrzyma się

$$\sum_{i=1}^n k_i x_i = \min ! \text{ (lub max !)} \quad (14)$$

zależności od tego, czy funkcję minimalizujemy, czy maksymalizujemy; x_i to elementy składowe wektora tak ustalone, że w danych warunkach ograniczeń otrzymuje się możliwie najwyższą jakość kompleksową. Zagadnienie to rozwiązuje się szczegółowo metodami programowania liniowego.

Wskutek zmian i rozwoju w czasie, funkcja F będzie zależeć i od tego czynnika, co należy uwzględnić w prognozowaniu rozwoju jakości kompleksowej. Ogólna postać funkcji F będzie:

$$F_t = g(F_o, t) \quad (15)$$

Tak pojętą metodą punktową ocen jakości kompleksowej w systemach gospodarki odpadami posłużyli się już m.in. Hagerty, Rasch i Thome-Kozmiensky, a opierając się na danych Hagerty'ego i teoretycznych podstawach podanych przez Wesołowskiego [13], autor przyjął tę metodę do oceny jakościowej niebezpiecznych odpadów przemysłowych, jak również do wyboru terenu pod wysypiska odpadów niebezpiecznych [5]. Poniżej pokazano możliwość zastosowania tej metody do klasyfikacji kompostu.

4. KLASYFIKACJA KOMPOSTÓW

Już Mach podawał (via [5]), że komposty należy klasyfikować według następujących kryteriów:

- składu chemicznego,
- wartości nawozowej,
- morfologii składników,
- właściwości strukturalnych,
- cech higieniczno-sanitarnych.

Ale powyższe kryteria nie muszą obowiązywać we wszystkich krajach, stąd i wyniki i klasy kompostów są różne. Przytacza się poniżej tylko najbardziej radykalny przykład, jakim jest minimalna zawartość substancji organicznej (w procentach wagowych):

Kraj	Klasa I	Klasa II	Klasa III
Polska	40	30	20
b. Czechosłowacja	36	36	30
Szwajcaria	10	10	10
b. NRD	30	20	10

Tak więc w krajach o dużych tradycjach w kompostowaniu, zamieszczenie kompostu w określonej klasie wcale nie musi być takie same jak w innym kraju. Czerney formułując swoje klasy kompostu uważał, że istotna jest tylko zawartość substancji organicznej, stopień ubytku masy wsadu, zawartość stłuczki i wielkość cząstek. Natomiast Crößmann [1] dzieli zalecane kryteria na trzy grupy:

Grupa I - Sucha masa, odczyn pH w KCl i przewodnictwo w KCl, substancja organiczna, czynna substancja organiczna, węgiel pierwiastkowy,

Grupa II - Makroelementy: N, P_2O_5 , K_2O , Ca, Mg.

Grupa III - Pierwiastki śladowe i metale ciężkie: B, Mn, Mo, Zn, Pb, Cd, Hg, As.

Crößmann [1] bada jeszcze wielkość ziaren, substancje balastowe i uwodnienie, ale jednocześnie stwierdza ogólnie, że w klasyfikacji należy uwypuklać kryteria pozytywne, zaś dopiero na drugim miejscu ograniczenia w wykorzystaniu produktu.

Opracowanie uniwersalnej i ogólnie uznanej klasyfikacji kompostu z pewnością nie jest proste. Jednak podane wyżej zasady punktowej oceny mogą do takiej klasyfikacji być przydatne.

5. PRZYKŁAD KLASYFIKACJI PUNKTOWEJ

Poniżej podaje się rozwinięty przykład praktycznego zastosowania jakości kompleksowej dla kompostów, oparty na doświadczeniach własnych i na przyjętych wartościach punktowych. Na tym etapie rozważań przyjęto 15 parametrów. Liczba ta wydaje się wystarczającą do wyjaśnienia zasad klasyfikacji punktowej. Każda właściwość masy kompostowej została odniesiona do maksymalnej wartości, jaką przypisujemy kompostowi dojrzałemu o najlepszych właściwościach. Zestawiono to w tabeli 1. Im bardziej skład odbiega od składu optymalnego, produkt otrzymuje mniejszą liczbę punktów, aż do minimalnej. Podział na grupy we wspomnianej tabeli jest równoznaczny z przypisanym danym grupom rangom ważności. Siedem wskaźników zaliczono do grupy pierwszej, po cztery do grupy II i III. (tabela 1).

Przydział punktów: odpowiednio	C_{max}	C_{min}
rozkładalna substancja organiczna -	20	14
uwodnienie	19	13
C/N	19	12
Suma NPK	18	11
Odczyn pH	17	10
Substancje balastowe	16	10
Suma metali ciężkich	15	10
Suma cząstkowa	124	80

TABELA 1

Parametry kryterialne dla klasyfikacji kompostów

Parametr	Wartość optymalna	Wartość dopuszczalna
Grupa I		
Rozkładalna substancja organiczna, % s. m.	30-40	10
Uwodnienie, % masy surowej	20-35	10, 45
Iloraz C/N	20 : 1	10:1; 30:1
N, P, K, % s.m.	1; 0,6; 0,2	0,3; 0,3; 0,1
Odczyn pH	6,5 - 7,0	5,5; 8,5
Materiał balastowy, % s.m.	< 0,5	□ 1,5
Metale ciężkie	mniej od dopuszczalnych wartości ustalonych w Rozporządzeniu	
Grupa II		
Tłuszcze, mg/g s.m.	< 65	□ 65
Pierwiastki śladowe, mg/kg s.m.	mniej od dopuszczalnych wartości ustalonych w Rozporządzeniu	
Makroelementy, mg lub g/kg s.m.	brak (na razie) wiążących wartości	
Zasolenie, g/kg s.m.	brak(na razie) wiążących wartości	
Grupa III		
Test na samozagrzewanie	pozytywny	nie pozytywny
Ogólna ilość bakterii	?	?
Liczba <i>Chaetomium</i>	< 300	> 400
Test kiełkowania	pozytywny	negatywny (?)

$C_i = 10 - 20; a_i = 1,5$
W grupie tej dano najwyższe wartości punktowe, czyli 10 - 20 pkt., przy randze 1,5.
Wartość funkcji F_1 w swej addytywnej postaci wyniesie zatem:

$$F_1 = \sum_{i=1}^7 a_i C_i,$$

$$a_i = 1,5 = const$$

$$C_{i,max} = \{20, 19, 19, 18, 17, 16, 15\}$$

$$C_{i,min} = \{14, 13, 12, 11, 10, 10, 10\}$$

$$F_{1\max} = \sum_{i=1}^7 1,5C_{i\max} = 1,5 \cdot 124 = 186$$

Stąd wartość średnia ważona $F_{1\max}^W = 186 : 10,5 = 17,7$

Minimalna (dopuszczalna) wartość

$$F_{1\min} = \sum_{i=1}^7 1,5C_{i\min} = 1,5 \cdot 80 = 120$$

oraz średnia arytmetyczna ważona $F_{1\min}^W = 120 : 10,5 = 11,4$.

Podobnie postępujemy ze wskaźnikami grupy II, które wydają się mieć mniejszy wpływ na jakość kompostu, ale jednocześnie są one mocno powiązane z chemicznym składem produktu.

Parametry grupy II	$C_{\max}$	$C_{\min}$
Tłuszcze (ekstrakt eterowy)	10	5
Mikroelementy	9	4
Makroelementy	9	4
Sole rozpuszczalne	8	3
Suma cząstkowa	36	16

$C_i = 3 - 10, \quad a_2 = 1,0 = \text{constans}$

$$F_2 = \sum_{i=1}^4 a_2 C_i,$$

$C_{i\max} = \{10, 9, 9, 8\}$
 $C_{i\min} = \{5, 4, 4, 3\}$

Tak zatem $F_{2\max} = 36, \quad F_{2\max}^W = 36 : 4 = 9$
 $F_{2\min} = 16, \quad F_{2\min}^W = 16 : 4 = 4$

Jakość kompleksowa wskaźników tej grupy waha zatem od 16 do 36, przy średnich ważonych od 4 do 9 punktów.

Dla parametrów grupy III:

Test na samozagrzewanie (odpowiednio $C_{\max}$ i $C_{\min}$)	5,	2
Ogólna liczba kolonii bakterii	4,	2
Liczba <i>Chaetomium</i>	3,	1
Test na kiełkowanie roślin	2,	1
Sumy cząstkowe grupy III	14,	6

$C_i = 1 \div 5, \quad a_i = 0,5 = \text{constans}$

$$F_3 = \sum_{i=1}^4 a_3 C_i,$$

$C_{i \max} = \{5, 4, 3, 2\}; \quad C_{i \min} = \{2, 2, 1, 1\}$

Odpowiednio $F_{3 \max} = 7, \quad F_{3 \max}^W = 3,5$

$F_{3 \min} = 3; \quad F_{3 \min}^W = 1,5$

Maksymalne wartości uzyskuje ta funkcja cząstkowa wówczas, gdy wszystkie testy i badania dały wyniki pozytywne.

Sumaryczne zestawienie wszystkich wyników cząstkowych zawiera tabela 2.

TABELA 2
Punkty jakości kompleksowej kompostów (przykład z badań) [7]

Grupa	Punkty funkcji		Ważone średnie arytmetyczne	
	max	min	max	min
I	186	120	17,7	11,4
II	36	16	9	4
III	7	3	3,5	1,5
Suma	229	139	30,2	16,9

Odpowiednie wartości urealnione zestawiono w tabeli 3.

TABELA 3
Aproksymacja liczby punktów dla kompostów właściwej klasy

Seria badawcza	Grupa I	Grupa II	Grupa III	Sumaryczna liczba punktów
I	max (7)	max	max	229
II	max (7)	min	max	209
III	max (7)	min	min	205
IV	śred. (7)	max	max	197,5
V	śred.(7)	średn.	średn.	184
VI	max (4); min (3)	średn.	max	182
VII	max (3); min (4)	min	min	167
VIII	min (7)	średn.	średn.	149,5
IX	min (7)	min	min	139

K o m e n t a r z

Kompost I. Klasy, najlepszy, może być użyty w przypadkach najbardziej wymagających jak na przykład jako "ziemia" doniczkowa, kwiatowa, w szklarniach, rabatach wiosennych, sadzonkach roślin wrażliwych jak tulipany czy pomidory.

Komposty klasy II na otwartych uprawach ogrodowych, do nawożenia (przykładowo) ogórków, kapust itp., jak też w rolnictwie. Komposty klasy III nadają się w zasadzie do rolniczego wykorzystania (lucerna, koniczyna, buraki pastewne itp.). Komposty tej klasy można też stosować w szkółkach leśnych i w winnicach. Zawsze jednak czynnikiem limitującym może być nadmierna zawartość metali ciężkich (tak pojedynczych metali jak i ich sumy) W dwóch pierwszych klasach, dopuszczalna prawnie zawartość żadnego z niebezpiecznych metali ciężkich nie może być przekroczona.

Zdarza się jednak (w niektórych z naszych krajowych kompostowni nawet zbyt często) że wytwarza się komposty, których wskaźniki jakościowe nie osiągają nawet wyżej opisanej klasy III. Czyli byłby to kompost "pozaklasowy", który jednak na dobrą sprawę można jeszcze stosować jako materiał przykrywający na składowiskach odpadów i do powierzchniowej rekultywacji hałd odpadów przemysłowych.

Jest oczywiste, że każdy kompost odpowiedniej klasy musi mieć swoją cenę sprzedaży. Nie dyskutowano w tym referacie o wzbogacaniu kompostu (a więc z reguły o podwyższaniu jego klasy) przez dodatek innych komponentów jak torf, słoma trociny, czy osady ściekowe, gdyż przekraczało by to ramy tego referatu. Generalnie jednak wypada stwierdzić, że tok rozumowania idący w kierunku ustalenia jakości kompleksowej byłby identyczny.

6. PODSUMOWANIE

Określenie jakości kompleksowej dowolnego produktu jest w przemyśle regułą. W referacie starano się wykazać - jako że kompostownie to też swoisty zakład produkcyjne - że metody te można przenieść na określenie klas kompostów. Tak jak każda pierwsza próba, każda nowość, tak i przedstawiony tu tok rozumowania i postępowania może budzić określone zastrzeżenia, być może występują tu nawet błędy subiektywne. Ale wiadomo powszechnie, że zawsze każda nowość spotyka się z nimi i niedostatki takiej czy innej teorii są dopracowywane.

Może nawet zarzucić się autorowi, że brał pod uwagę tylko 15 parametrów, że ten czy inny parametr należało by przyporządkować innej grupie itd. Wówczas inne były by wyliczone wartości punktacji, C_i oraz a_i . Oczywiście należy oponentom przyznać rację. Ale jednocześnie dążyć do rzeczowej, nawet - gdy zajdzie potrzeba - ostrej dyskusji. Spotkanie fachowców w dziedzinie kompostowania jest najlepszą do tego okazją.

Autor jest wszakże przekonany, że jest to droga do ujednolicenia klasyfikacji kompostu i to nawet na platformie międzynarodowej. Szkoda tylko, że tak mało polskich specjalistów zasiada w gronie międzynarodowych zespołach decydentów (np. w komisjach COST UE). Autor jest jednocześnie optymistą, że już w niedługim czasie

fachowcy będą mówili o ujednoliconych klasach kompostu i że nie będzie to źródłem nieporozumień.

LITERATURA

- [1] CRÖßMANN G., Hasuk A., Ernst A.A. (1977): *Untersuchungen zur Ermittlung von Qualitätskriterien bei Müllklärschlammkompost*. Müll und Abfall, 9, S. 226
- [2] CZERNEY P. (1971): Zur Qualitätsbeurteilung von Stadtkomposten. Kommunale Dienstleistungen 7, 2,3,
- [3] HAUG, R.T., (1980): *Compost Engineering - Principles and Practice*. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor
- [4] KAHMANN L. (1983): *Kompostqualitätskriterien und Schwermetalle*. Müll und Abfall, 11, S.188
- [5] KEMPA E.S. (1983): *Gospodarka odpadami miejskimi*. Wyd. ARKADY Warszawa
- [6] KEMPA E.S. (1985): *Qualitätsklassen von Müllkomposten*. W [11], ss. 617-631
- [7] MIKA J. (1982): *Próba klasyfikacji jakościowej kompostów*. Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej - praca dyplomowa niepublikowana
- [8] Norma branżowa BN-89/9103-09: *Unieszkodliwianie odpadów miejskich - Kompost z odpadów miejskich*. Inst. Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Warszawa
- [9] Pr. zbior. (1983): *Gütekriterien für Müllkompost - Die ÖNORM S 2022*. Wyd. Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau der TU Wien, Bd. 4 "Abfallwirtschaft"
- [10] Pr. zbior. (1999): *Kompostowanie i użytkowanie kompostu*. Wyd. Ekoinżynieria Lublin
- [11] THOMÉ-KOZMIENSKY K.J.[Hrsg.] (1985): *Kompostierung von Abfällen*. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin
- [12] UBA (1977): *Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost aus Müll und Müllklärschlamm*. W: Müll- und Abfallbeseitigung, Erich Schmidt Verlag, Berlin - Bielefeld, Kennzahl 6856
- [13] WESOŁOWSKI (1975): *Programowanie nowej techniki*, Wyd. PWN Warszawa.

